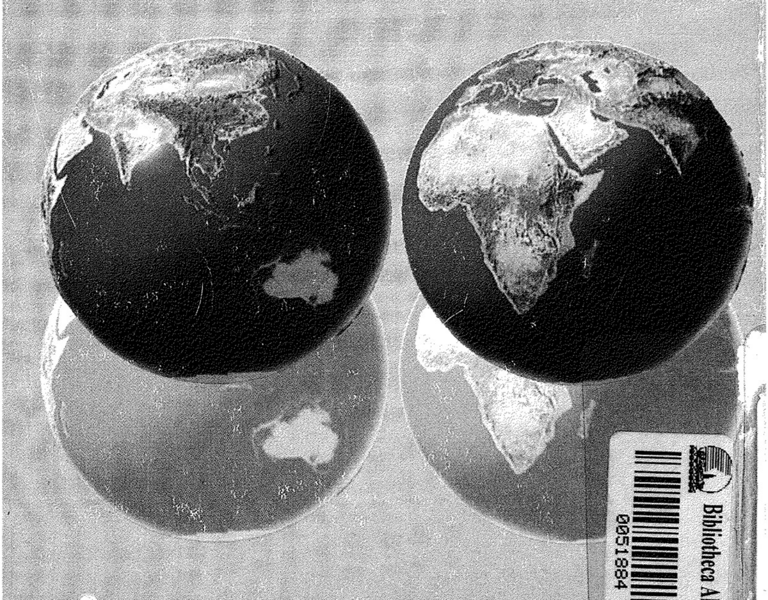
مكتبة الأسرة 1999

مهرجان القراءة للجميع

الأعمال العلمية

الأرض الكوكب

ترجمة: د. على ناصف



الهيئة المصرية العامة للكتاب

الأرض الكوكـــب

ترجمة : د. على ناصف



مهرجان القراءة للجميع ٩٩

مكتبة الأسرة

برعاية السيدة سوزان مبارك

(سلسلة الأعمال العلمية)

الأرض الكوكب

ترجمة : د. على ناصف

الجهات المشاركة:
جمعية الرعاية المتكاملة المركزية
وزارة الثقافة
وزارة الإعلام
وزارة التعليم
وزارة التنمية الريفية
المجلس الأعلى للشباب والرياضة
التنفيذ : هيئة الكتاب

الغلاف
والإشراف الفنى:
الفنان: محمود الهندى
المشرف العام:
د. سمير سرحان

على سبيل التقديم

وتمضى قافلة «مكتبة الأسرة» طموحة منتصرة كل عام، وها هى تصدر لعامها السادس على التوالى برعاية كريمة من السيدة سوزان مبارك تحمل دائمًا كل ما يثرى الفكر والوجدان ... عام جديد ودورة جديدة واستمرار لإصدار روائع أعمال المعرفة الإنسانية العربية والعالمية فى تسع سلاسل فكرية وعلمية وإبداعية ودينية ومكتبة خاصة بالشباب. تطبع فى ملايين النسخ الذى يتلهفها شبابنا صباح كل يوم .. ومشروع جيل تقوده السيدة العظيمة سوزان مبارك التى تعمل ليل نهار من أجل مصر الأجمل والأروع والأعظم.

د. سمير سرحان

مقدمة

الكواكب أشياء مألوفة لنا الى حد كبير . فشمسنا تجمع حولها تسعة كواكب على الأقل . ويبدو أن كثيرا غيرها من النجوم تشرق بنورها على مجموعات متشابهة من التوابع . وهذا الكتاب يعالج موضوع كوكب نعرفه أكثر من غيره ، ويحتمل أن يكون الكوكب الوحيد الذى سيمكن لجيلنا الحالى أن يستكشفه بنفسه ويكشف أسراره .

ومما يسعدنا أننا مشرفون على انماء معلوماتنا عن الارض الى حد كبير . ففى الوقت الذى يعد فيه هذا الكتاب للطبع . يقوم علماء ثمان وثلاثين دولة بتنفيذ برامج طموحة مبتكرة بمناسبة السنة الجيوفيزيائية العالمية ، وسوف ينجز هؤلاء العلماء آلافا من المشاهدات والقياسات المختلفة فى كل انحاء العالم خلال هذه «السنة» التى تستغرق ثمانية عشر شهرا (من يوليو سنة ١٩٥٧ الى ديسمبر ١٩٥٨) ومن ثم ، فسوف يمكنهم ، بعد سنوات قليلة من دراسة نتائج مشاهداتهم وتفسيراتها ، الاجابة على عديد من الاسئلة الأساسية والعملية فيما يختص بالأرض ، باطنها وقشرتها ، مائها وهوائها ، والكونيات المحيطة بها . وهذا الكتاب يعرض صورة شاملة لما نعلمه الآن ونحن على أبواب هذا المشروع العلمى البالغ الاهمية .

وقد تنمى السنة الجيوفيزيائية العالمية مبلغ تفهم كل منا للآخر . فسوف تكون محكا عمليا للتعاون الدولى المثمر ، اذ ستتطلب الكثير من التنظيمات التى تكفل اجرا الارصاد فى أوقات واحدة

لا تتفاوت باكثر من جزء من الالف من الثانية فيما بين مراكز الرصد المتناثرة على ابعاد شاسعة على سطح الارض فى مختلف اقطارالعالم. وسوف تجرى هذه الارصاد فى « ايام عالية » محددة او معلومة. وعلى جميع مراكز الرصد الاستجابة فورا الى نداء يوجه اليها فى ايام عالية اخرى معينة وذلك للاستفادة من ظروف الاضطرابات الشمسية أو من العواصف الكهرومغنطيسية التى تحدث فى طبقات الجو العليا. وفى خلال سلسلة طويلة من المؤتمرات المنعقدة فى الاعوام المنصرمة، عنى العلماء بتوحيد مستوى دقة اجهزتهم فى كل مكان، وباعداد هذه الاجهزة للعمل بذبذبة موحدة. هذا النوع من التعاون الوثيق مالوف لدى اعضاء المجتمع العلمى الدولى، وسوف يجذب نشاطهم خلال السنة الجيوفيزيائية الدولية اهتمام «زملائهم»، فيجدون فيهم مضربا لمثل طيب للتعاون العلمى.

هذا الكتاب موجه اساسا الى هؤلاء « الزملاء » ممن لا يشغلون بالعلوم المتصلة بالارض. فهو نتاج تعاون فريد بين العلماء الذين كتبوا اجزاءه الاربعة عشر ومحررى « المجلة الامريكية العلمية »، حيث نشرت هذه الاجزاء كمقالات خلال الاعوام الماضية. وبتجميعها فى كتاب واحد تتكامل لكل موضوع منها عناصره المختلفة. وهذه المقالات مجتمعة تصور مستوى معلوماتنا فى علم الفيزياء الارضية، الامر الذى لا يتوفر فى أى كتاب آخر.

يعالج علم الفيزياء الارضية صفات الارض، ماخوذة على نطاق واسع، وهى الى حد كبير صفات كونية عامة، لا تتميز الارض بها عن غيرها من الكواكب والنجوم. وكما سيتضح فى اجزاء هذا الكتاب، يصح اعتبار هذا الكوكب مجموعة من طبقات كرية متحدة المركز. الكرة الصخرية، وتشمل النواة والغلاف والقشرة الارضية، والغلاف المائى، ويشمل المحيطات وجبال الجليد والقمم الثلجية، ثم الغلاف الجوى للارض وباعلاه طبقة الايونوسفير وما بعدها من طبقات لا تزال رهن الاستكشاف قوامها جسيمات مشحونة. وتنساب خلال كل من هذه الطبقات انواع متماثلة او متشابهة من القوى، والمد، والتيارات، وتتشابك كل منها فى حركياتها مع غيرها بين الطبقة والاخرى. وفى هذه النظرة المستوعبة سوف لا تتعرض

للغلاف الحيوى ، ونعنى به الطبقة الرقيقة من المادة العضوية حيث تقوم الحياة ويسجل التاريخ .

يناقش الفصل الاول من هـــذا الكتاب كيف نشأت الارض . وتشير نظرية « سحابة الغبار » الواسعة الانتشـــار الى أن الارض تكونت من زمن يقارب زمن تكون الشمس أثناء تكاثف سحابة ضخمة من المواد النجمية الناقصة التكوين . وتتفق ابحاث يورى وآخرين من علماء الكيمياء الارضية فى موضوع «أصل الأرض» مع مشاهدات المتخصصين فى رصد الزلازل والهزات الارضـــية ، على أن القشرة الصخرية والطبقة الغلافية من تحتها تحوطان نواة معدنيـــة لدنة ببـــاطن الارض . وكما يبين ك . أ . بولين فان السيسموجراف (جهاز تسجيل الذبذبات الارضية) الذى يرسم ذبذبات القشرة الارضية ، يدل على أن النواة فى حد ذاتها تتكون من طبقـــات كرية متحدة المركز . أما القسم الثانى من الكتاب عن أصل حرارة الارض والمجال المغنطيسى للارض ، فمادته أكثر تأملا وتخيلا وحدسا .

ومن المدهش أن ما يتجمع الآن من معلومات تفصيلية متزايدة عن شكل الارض الحقيقى تمدنا بدليل هام على حقيقـــة الاحداث والقوى التى تتفاعل داخل الارض . فدراسات الجاذبية التى يقوم بها وايكو . ا . هايسكانن تشير الى أن شكل الارض لا يعـدو كرة شوهتها الضغوط كما أنها مفرطحة عند القطبين . وهذه الفكرة العامة تتفق مع ما يصفه والتر هـ . بوتشر من وجود منخفضات ومرتفعات فى صخور الاساس تحت المحيطات والقارات . ويؤكد روبرت ل .

فيشر وروجر ريفيل فى فصلهما عن أخاديد المحيط الهادى الحصول على نفس النتائج فيما يتعلق بطوبوغرافية قاع المحيط . ويمـدنا عدم انتظام شكل الارض ، وما يعترى هذا الشكل من تغير مستمر بتفســــير معقول لديناميكية بناء الجبال ، الامر الذى يتفـــق والتخمينات الواردة بالقسم الثانى عن باطن الارض .

ويعتبر توزيع المياه على سطح الارض من العوامل الهـــامة فى زحزحة حالة الاتزان والاستقرار بالنسبة للقشرة الارضية . وتغطى المناطق الجليدية الشمالية ومنطقة جرينلاند والجبال الثلجية من

سطح الارض كميةمن المياه المتجمدة يبلغ عمقها مائة قدم ، وهى اذا ذابت وتدفقت الى المحيطات ، كفيلة بأن تغرق معظم مدن العـــالم الكبرى . وتنحرف أسطح القارات نتيجة لحركة هذه الثلوج أثناء تقدمها أو تقهقرها . بيد أن الثلوج تشكل نسبة ضئيلة من الغلاف المائى ، فالمحيطات التى تحوى ٩٥ ٪ من ميـــاه الارض تغطى ثلثى مساحة سطح الكرة الارضية تقريبا . ومن قديم الازمان استغل البحارة معرفتهم لحركة التيارات ودوراتها فى المحيطات . والى عهد قريب لم تكن ندرك ادراكا شاملا مستوعبا الفـــكرة المنطوية تحت دورات المحيطات كما وصفها ولتر . ه . منك . وهـــذه الدورات شبيهة بالدورات الجوية اذ أنها تتحرك بنفس القوى المنبثقـة من حرارة الشمس ومن دوران الارض .

ويعطينا هارى ويكسلر أنموذجا تفصيليا للدورات الجوية التى تعم أرجاء الأرض ويزداد هـــذا الانموذج وضوحا على مر الايام ، ويعتبر أساسا دائم التحسن للتنبؤ الجوى الطويل المدى . وتستأثر حالة الطقس فى طبقات الجو السفلى باهتمام الانسان ، وهى وثيقة الارتباط بما يحدث فى طبقة الايونوسفير فى طبقات الجو العليـــا . فالعواصف التى تطرأ على هذه الطبقات المتأينة تؤثر تأثيرا مبـــاشرا على حياة الانسان بقطعها مواصلاته اللاسلكية . ويشرح ت . ن . جوتييه كيف أن فن اللاسلكى بدوره قد مكن الانســـان من ادراك ما يجرى عند هذه الارتفاعات الشاهقة ادراكا مفصلا .

ففى طبقة الايونوسفير تتفاعل القوى الواقعة فى الحيز الكونى المجاور للغلاف الجوى ، وهى تلك القوى التى يمكن مشاهدة آثارها فى ظاهرة الوهج القطبى والوميض الجوى الخافت اللذين يصفهما س.ت. الفى وفرانكلين أ . روش . ويتناول ل.ر.أ. ستورى الكلام عن ظاهرة الصفير وهى أداة أخرى من أدوات استكشاف هـــذه المنطقة . وبتتبع هذه الاشارات بواسطة أجهزتها اللاسلكية ، يمكننا رسم صورة للمجال المغنطيسى للارض فى أعماق الفضاء البعيد .

ولكى يمكن للاجهزة تسجيل المشاهدات عند حافة الفضـــاء

الخارجى تسجيلا مباشرا ، يتوقع العلماء الامريكيون والسوفييت أن يرسلوا أقمارا صناعية تتخذ مداراتهـا حول الارض . ويصف هومر أ . نيويل الجهود الخارقة فى مضـمار الصواريخ وهندسة الاجهزة ، تلك الجهود التى ستجعل تحقيق هذه الامنية غير بعيـد المنـال .

المحررون

* * *

القسم الأول

نشأة الأرض وتكوينها

●

أصل الأرض

بقلم هارولد ك . يورى

هارولد ك. يورى عالم من أشهر علماء أمريكا البارزين ، وشخصية من أقوى الشخصيات فى مجتمعها العلمى . وهو أستاذ الكيمياء بمعهد « أنريكوفيرمى » للدراسات النووية بجامعة شيكاغو. حصل على درجةالبكالوريوس من جامعة مونتانا ١٩١٧ ، وعلى درجةالدكتوراه فى الكيمياء من جامعةكاليفورنيا عام ١٩٢٣ ، وقضى بعد ذلك عاما فى كوبنهاجن برفقة العالم العظيم نيلز بوهر (Neils Bohr) . وباشر يورى بعد ذلك بمعلوماته الخارقة فى الفيزياء والكيمياء النووية عمله التاريخى فىفصل الديوتيريوم وهو أحد النظائر الثقيلة للايدروجين . وفى عام١٩٣٤ نال على هذ العمل العظيم جائزة نوبل . وكان يورى من القادة الذين لا غنى لامريكا عنهم فى محاولتها العلمية الضخمة لانتاج القنبلة الذرية خلال الحرب العالمية الثانية . وبعد ذلك عاد يورى الى أبحاثه الاصلية . وتفصح مساهمته فى هذا الكتاب عن تشعب انتاجه واتساعه فى السنوات الاخيرة ، وهو انتاج بعيد عن اللون الهندسى وعن صناعة الاسلحة ، وليس فيه ما هو « مقصور » او « محدود » أو « سرى » .

أصل الأرض

بقلم

هارولد ك. يورى

يحتمل أن يكون الانسان منذ وهب عقلا مفكرا قد بدأ يتصور ويحدس كيف امتدت الأرض، وماذا يمسكها أن تقع، وما هى طبيعة الشمس والقمر والنجوم، من أين أتت كلها، وكيف بدأت، وما الى ذلك من الامور. وقد سجل الانسان تصوراته هذه فى كتابات دينية. ويعتبر الفصل الاول من سفر الكون مثالا شاعريا جميلا لها. ظلت هذه الكتب قرونا عديدة جزءا من ثقافتنا، حتى أن كثيرا منا قد غاب عنه أن بعض أجدادنا الاولين كانت لهم آراء محدودة عن الأرض والمجموعة الشمسية، وهى آراء مقبولة لدينا الآن قبولا تاما.

كان ارستاركاس (Aristarchus) من جزيرة ايجه التابعة لساموس أول من اقترح ان الارض وغيرها من الكواكب تدور حول الشمس. عارض الفلكيون هذا الرأى الى أن أيده كوبيرنيكاس (Copernicus) بعد ذلك بألفى عام. وكان

اليونانيون يعرفون شكل الارض وحجمها على وجـه التقريب ، كما كانوا يعرفون سبب كسوف الشمس . وبعـد كوبيرنيكاس راقب الفلكى الهولاندى تايكو براهى (Tycho Brahe) تحركات كوكب المريخ من مرصده بجزيرة هافن الواقعة ببحـر البلطيق . ومن هذه المشاهدات استطاع جوهانز كبلر (Johannes Kepler) أن يبين أن المريخ والأرض وغيرهما من الكواكب تدور كل منها حول الشمس فى مدار على شكل قطع ناقص . وبعد أن وضع العـالم العظيم اسحق نيوتن (Isaac Newton) قانون الجاذبية العام وقوانين الحركة ، أمكن استنباط وصف دقيق للمجموعة الشمسية بأكملها . وقد شغل هذا الامر أذهان كبار العلماء والرياضيين فى القرون التى تلت ذلك .

ومن سوء الطالع ، أن وصف مصدر المجموعة الشمسية أمر يفوق كثيرا فى صعوبته وصف تحركات أجزاء هذه المجموعة . فالمواد التى توجد الآن بالأرض وبالشمس لابد وأنها تختلف فى حالتها عما كانت توجد عليه عند بدء نشأتها . ويتطلب فهم الكيفية التى تجمعت بها هذه المواد الالمام بكثير من فروع العلوم الحديثة كالنظرية الجزيئية للغـازات ، والديناميكا الحرارية ، والنشاط الاشعاعى ، ونظـرية الكم . ومن ثم فليس مستغربا ألا يحـرز المشتغلون بعلم الارض تقدما ملموسا حتى مطلع القرن العشرين.

ومنذ ستين عاما افترض السيرجورج داروين (Sir George Darwin) أن القمر قد انفصل أصلا عن الارض من المكان المعروف الآن لدينا بالمحيط الهادى ، وهذا الافتراض يسود عند الكثير من الثقاة . غير أن ف . ر . مولتون (F. R. Moulton) بعد دراسته فى

شيء من العمق استنتج استحالته . وفى عام ١٩١٧ أعاد هارولد جيفريز (Harold Jeffreys) دراسة نفس الافتراض ، وأشار الى أنه بتأثير قوى المد ، يمكن أن يكون القمر قد انفصل عن الارض وهى فى حالة منصهرة . وعلى كل ، ففى عام ١٩٣١ تناول جيفريز الموضوع من جديد واستنتج استحالة وقوع هذا الامر . ومنذ ذلك الوقت يشاركه هذا الرأى معظم الفلكيين .

ومع أن مولتون وجيفريز أوضحا أن انفصال القمر عن الارض أمر بعيد الاحتمال ، الا أنهما وضعا نظريات للمجموعة الشمسية تتضمن أن الارض وغيرها من الكواكب كانت قد انفصلت أصلا عن الشمس . وقد اقترحا ، هما وجيمس جينز (James Jeans) ت . س . تشمبرلن (T. C. Chamberlin) أن الكواكب قد تكونت من تراكم المواد المتناثرة الناجمة عن مرور نجم بالقرب من الشمس أو تصادمه بها . وهذه الفكرة عن نشأة كواكب المجموعة الشمسية لا تزال يعتنقها الكثيرون حتى الآن .

وتدل الشواهد التى نحصل عليها بالمنظارات الفلكية الكبيرة . على أن معظم النجوم تتكون فى مجموعات من نجمين أو ثلاثة أو أربعة نجوم . وقد أمكن تحديد وزن النجوم المركبة بتطبيق قوانين نيوتن للحركة وقانونه العام للجاذبية . كما أمكن معرفة سرعة هذه النجوم وذلك بدراسة التغيرات المميزة التى تطرأ على طيفها أو بالقياس الفعلى لحركتها بالنسبة للنجوم القريبة . وقد وجد أنه يندر أن تتساوى كتلتا النجمين فى المجموعة الثنائية ، وأن النسبة بين كتلتيهما تتغير تغيرا كبيرا . واستنتج جيرارد ب كويبر (Gerard P. Quiper) بجامعة شيكاغو أن عدد النجوم الثنائية لا يتوقف اطلاقا على النسبة بين كتلة أحد النجمين وكتلة

النجم الآخر ، وبعبارة أخرى ، فان احتمال وجود نسبة معينة بين كتلتى نجمين أكثر من وجود نسبة أخرى احتمال ضئيل جـدا . ويبدو فى الواقع أن فرصة وجود ازدواج تكون كتلة أحد نجميه $\frac{١}{١٠٠٠}$ من كتلة النجم الآخر ، هى نفس فرصة وجود ازدواج تكون نسبة الكتلتين لنجميه $\frac{٩٩٩}{١٠٠٠}$.

وطبيعى أن يكون من العسير مشاهدة ازدواج نسبة كتـلة نجمه الثانوى الى كتلة النجم الاولى هى $\frac{١}{١٠٠٠}$ ، وخاصة اذا كان هذا النجم الثانوى غير مضىء . واذا اعتبرنا الشمس وأكبر كواكبها ، وهو المشترى ، نجما مزدوجا . فكتلة المشترى تقـدر بجزءمن ألف من كتلة الشمس ، وهو يضىء فقط بضوء الشمس المنعكس عليه وأن المشترى لايرى حتى من أقرب النجوم اليه وهناك من الدلائل الكثيرة ما تشـير الى أن وجـود النجـوم المزدوجة ، مثل الشمس والمشترى ، أمر عادى فى المجرة . وتشير نفس الاعتبارات الى احتمال وجـود ما يقـرب من ١٠٠ مليون مجموعة شمسية . وشيوع وجود هذه المجموعات الشمسية على هذا النطاق الواسع ينفى احتمال وجودها كنتيجة لتصـادم بين نجمين .

ومنذ سنوات عديدة ، لاحظ أ . أ . برنارد(E. E. Bernard) بمرصد « يركس » وجود بقع سـوداء أمام الغيـوم السديمية المنتشرة فى المجرة . وقام بارت ج . بوك (Bart J. Bok) بجامعه هارفارد بفحص هذه الكرات الصغيرة المعتمة من الغبار والغاز ؛ ووجد بوك أن كتلتها تناهـز كتلة الشمس ، وأن قطـرها يقارب المسـافة بين الشمس وأقرب النجوم اليهـا . وقد أوضح ليمان

سبتزر (Lyman Spitzer) بجامعة برنستون انه اذا وجدت بالفضاء كتل كبيرة من الغبار والغاز فان ضوء النجوم القريبة منها كفيل بأن يدفعها تجاه بعضها البعض ومن ثم تتجمع جسيمات الغبار وتضغط ضغطا كافيا يتيح الفرصة لقوة الجاذبية المسيطرة على الكتلة بأجمعها وعند ذلك يصبح الضغط والحرارة بداخلها كافيين لبدء التفاعلات الحرارية النووية للنجم .

ويبدو معقولا أنه اذا تكون نجم الشمس نتيجة عملية من هذا النوع ، فقد تتبقى مادة تكفى لبناء باقى المجموعة الشمسية . فاذا كانت العملية أكثر تعقيدا ، فقد يؤدى هذا الى تكوين نجمين بدلا من نجم واحد . فاذا اشتد تعقيد العملية فقد تنجم عنها مجموعة من ثلاثة نجوم أو أربعة . هذا القبيل من النظريات مقبول لدينا الآن أكثر من الافتراضات القائلة بأن الكواكب قد انفصلت بطريقة ما عن الشمس بعد أن تم تكوينها . وفى رأيى أن الافتراضات القديمة لم تكن مقنعة ، لانها حاولت تعليل مصدر الكواكب وأهملت تعليل مصدر الشمس ذاتها . وعندما نحاول أن نحدد كيف تكونت الشمس ، فاننا ندرك على الفور كيف أن المواد التى تشتمل عليها الكواكب الآن هى من مخلفات مادة الشمس .

ان أى نظرية تفسر أصل المجموعة الشمسية ، يجب أن تتضمن دليل ما نشاهده من كمية الحركة الزاوية للشمس فى دورانها حول نفسها وللكواكب فى دورانها حول الشمس . وتقدر كمية الحركة الزاوية لاى كوكب بحاصل ضرب كتلته × سرعته × بعده عن الشمس .. وللكوكب المشترى أكبر قسط من كمية الحركة الزاوية فى المجموعة الشمسية ، أما نصيب الشمس نفسها فيعادل فقط ٢٪ من كمية حركة المجموعة . الأمر الآخر الذى لابد من اعتباره

عند مناقشة أى نظرية هــو ما يسمى بقانون « تيتاس ــ بود » (Titus-Bod Law) ، الذى يبين بطريقــة رياضية مبســطة كيف تتنــاسب أبعاد الكواكب عن الشمس : فالــكواكب القريبة من الشمس متقاربة كل من الاخرى ، والكواكب البعيدة عن الشمس متباعدة كل عن الأخرى ، على أن هذا القانون تقريبى ولاينطبق على واقع الامر بدقة ، وقد لا يستحق كل الاهتمام الذى أوليناه اياه . وفى دراستى للموضوع بحثت عن أدلة أخرى تتعلق بأصل المجموعة الشمسية .

منذ حوالى خمسة عشر عاما ، أشــار كل من هنرى نوريس راسل (Henry Norris Russel) بجامعــة برنستون ودونالد هـ . مينزل (Donald H. Menzel) بجامعة هارفارد الى وجــود علاقة مذهلة بين نسب العناصر فى جو الارض ونسبها فى أجواء النجوم بما فيها الشمس ، فمن الجدير بالملاحظة أن عنصر النيون الغاز الذى نستخدمه فى العلامات الضوئية نادر الوجود فى جــو الأرض ، لكنه كثير الانتشار نسبيا فى أجواء النجوم . واستنتج راسل ومينزل أن النيون ، وهو العنصر الذى لا يكون مركبات كيميائيــة ، تسرب من الأرض وهــىساخنــة فى فترة مبكرة من تاريخها ، وتسرب معه كل الماء والمواد المتطايرة التى كان الجــو يتألف منها فى ذلك الوقت . ويفترض راسل ومينزل أن المحيطات والجو الموجود حاليا تكونت بتسرب الازوت والكربون والمــاء من جوف الارض . وكذلك يفترض استاذ الفيزياء الالمانى ك .ف فون فايتسزيكار (C. F. Von Weizsäcker) أن غاز الارجون الموجود بالهواء قد نشأ غالبا من تحلل البوتاسيوم المشع خــلال الاحقاب الجيولوجية ، وأنه تسربمن باطن الارض . كذلكأشار

ف . و . آستون (F. W. Aston) بجامعة كمبردج الى أن الغازين الخاملين الآخرين الكريبتون والزينون قد تسربا من الارض .

بمثل هذه الأفكار عن تسرب العناصر الكيميائية المتطايرة من سطح الارض ، بدأت دراستى الخاصة عن أصل الارض . وعلى وجه التحديد ، كيف ومتى تسربت هذه العناصر من الأرض ؟

والنتيجة التى خلصت اليها هى أنه من المستحيل أن تكون هذه العناصر قد تسربت من الارض بعد تمام تكوينها ، فتطايرها لابد أن يكون قد حدث فى تاريخ مبكر ، اذ أن جاذبية الارض بعد تمام تكوينها تحول دون تسرب الغازات المتطايرة الى الفضاء . ولكن اذا كانت هذه الغازات قد تسربت من الارض قبل تمام تكوينها فما هو مصدر الغازات التى نجدها اليوم على سطح الارض ؟ فالماء ، على سبيل المثال ، كان حريا أن يتسرب مع النيون ، ولكنه الآن يملأ المحيطات . ويبدو أن الجواب على ذلك هو أن من الخواص الكيميائية للماء أنه لايكون مركبات متطايرة عند درجات الحرارة المنخفضة .

وعلى هذا ، فان الارض اذا كانت فى أى وقت مضى أبرد مما هى عليه الآن فلعلها كانت قد احتفظت فى باطنها ببعض مائها ، وأن يكون هذا الماء قد انبثق فيما بعد الى سطحها . ولكن النيازك تحتوى على جرافيت وكربيد الحديد ، وهذان يحتاج تكوينهما الى درجة حرارة عالية . فاذا افترضنا أن الارض والكواكب الاخرى كانت باردة فكيف تم هذا التفاعل الكيميائى ؟

كيف اذن تكونت الارض والكواكب ؟ ان أحدا منا لم يكن

حاضرا وقتذاك ، وأى افتراض أسـوقه لا يسهل اعتباره ممثـلا للحقيقة المؤكدة . وغاية ما يمكن عمله فى هذاالصدد هو أن نحدد نهجا ممكنا لتسلسل الحوادث ، بحيث لا يتعـارض هذا النهج والقـوانين الطبيعية والحقائق المشـاهدة . ولا يمكننا حاليا أن نستنبط بطريقة رياضـية بحتة التاريخ الدقيق الذى بدأ بكرات الغبار . ولما كان ذلك أمرا متعذرا علينا ، فانه لا يسعنا أن ننهج نهجا قاطعا فى قبول أو استبعاد الخطوات المفترضة لتفسير نشأة الكواكب وتطورها . ومع كل ، فقد يمكننا أن نبين أى الخطوات أكثر احتمالا ، وأيها بعيدة الاحتمال .

يعتقد كويبر أن الكتلة الأصلية للغبار والغـاز قد انقسمت الى جزء تكونت منه الشمس وأجزاء أخرى تكونت منها الكواكب ، المشترى وزحل بغازاتهما بما فى ذلك الغازين الخفيفين الايدروجين وفقـدت الاوائل من الكواكب المسماة بالارضـية وهى عطارد والزهرة والارض والمريخ غازاتها ، واحتفظ الكوكبان العملاقان بالهيليوم .أما الكوكبان أورانوس ونبتون فقد فقدا جزءا كبيرا من غازات الايدروجين والهيليـوم والميثان والنيـون ، ولكنهما احتفظا بالماء والنوشادر والمواد الاقل تطايرا . ويتفق كل ذلك مع الكثافة الحالية للكواكب .

ويبدو من المؤكد الى حد معقول أن الماء والنوشادر والمواد الهيدروكربونية مثل الميثان ، قد تكاثفت الى حالة صلبة أو سائلة فى أجزائها من هذه الكواكب الأول . ولا بد أن يكون الغبار قد تخثر فى عواصف جليدية انتشرت فى مساحات تناهـز المساحات الواقعة الآن بين الكواكب . وبعد مدة تكونت أجرام ضخمة مركبة

من الماء والنوشادر والمواد الهيدروكربونية والحديد أو أكسيد الحديد . ولابد أن بعض هذه الاجرام كان يضارع القمر حجما ، وقد يكون القمر قد نشأ بهذه الطريقة . وتجمع جرم كبير فى حجم القمر لابد وأن تتولد عنه حرارة كافيــة لتبخير مواده المتطايرة . أما الاجــرام الاصغر حجما فهى حرية أن تحتفظ بهــذه المواد . ولاشك أن معظم الاجرام الصغيرة قد اندمجت فى الاجرام الكبيرة . وقد يكون « ديموس » « وفوبوس » ، قمرا المريخ ، هما الباقيان من بين هذه الأجرام الصغيرة .

ولابد أن كتلا ضخمة من الحديد قد تكونت أيضا . فبالقرب من الحافة الشمالية للقمر يوجد سهل كبير يعرف ببحر «أمبريام» ، تحيط به جبال تتخللها أخاديد عميقة طويلة ، وقد يبدو أن الجزء بأجمعه قد اتخذ هذا الشكل نتيجة سقوط جسم قد يبلغ قطــره ستين ميلا . وأول من افترض ذلك هو العالم الجيولوجى الامريكى ج.ك. جيلبرت (G. K. Gilbert) فى عام ١٨٩٣ ، وتبعه فى هذا الرأى مؤخرا غــيره من العلماء . وتقع بقعــة التصادم جنــوب « سينوس ايريدوم » . و يستــدل من توزيع الاخاديد والروابى حول مركز قرص القمــر على أن الجسم المصطدم جاء من جهــة «سينوس ايريدوم» وأحدث هذا خليجا عند بقعة التصادم العميقة ناشرا أجزاء من مادته على سطح القمر . وتبلغ المسافة بين نقطتى « سينوس ايردوم » ١٤٠ ميــلا وذلك يدعم تقــدير قطر الجسم بستين ميلا . ولابد أن تكون الاخاديد قد نشأت بفعل مواد غاية فى الصلابة أشبه بسبيكة من الحــديد والنيكل وكانت مستقرة بداخل هذا الجسم . وبطبيعــة الحال لا تزال بعض الاجســام الحديدية طافية فى الفضاء الواقع بين الكواكب ، يهــوى بعدها

فيصطدم بعضها بالأرض بين الحين والآخر ، وتعرف بالنيازك .

كيف تكونت مثل هذه الاجسام المعدنية من سحابة الغبار الدقيق الاصلية ؟ بالاضافة الى الغبار تشتمل الكويكبات على كميات ضخمة من الغاز ، معظمه من الايدروجين . وقد افترضت ان الضغط الواقع على الغازات التى تحتويها الكويكبات المتقلصة ، يولد حرارة عالية كفيلة بصهر السليكات ، وهى المركبات التى تؤلف اليوم جزءا كبيرا من القشرة الصخرية للكرة الارضية . وتقوم نفس الحرارة العالية ، فى وجود الايدروجين ، باختزال أكسيد الحديد الى عنصر الحديد ، فيرسب الحديد المنصهر ، متخللا السليكات ، ومتجمعا فى برك كبيرة .

هـذا الافتراض غير مقنع ، اذ أنه من الضرورى أن نعرف الطريقة التى فقدت بها الارض بعض مادتها الصخرية ، وذلك بالمقارنة بحديدها المعدنى الكثيف . وهذا الامر أكثر ضرورة فى حالة الكوكب عطارد الذى لابد أن يحتوى على كمية من الحديد تتراوح ما بين ٦٠ ٪ ، ٧٠ ٪ من مادته ، والواقع أن الكواكب الارضية تختلف عموما فى تركيبها ، فمثلا يحتوى عطارد على أكبر نسبة من معدن الحديد المرتفع الكثافة ، وتقل هذه النسبة فى حالة الارض والزهرة ، وتقل أكثر فى المريخ ، وتصبح ضئيلة جدا أو منعدمة فى القمر . وليس من اليسير أن نفترض حلا معقولا يفسر لنا ميكانيكية تبخر المواد الصخرية التى لاتتطاير وكيفية انفصالها عن هذه الكواكب . وليس من المعقول أن نفترض أن الكوكب فى بدء نشأته أمكنه الاحتفاظ بجزيئات الايدروجين الخفيفة جدا ، فى الوقت الذى فقد جسيمات السليكات الكبيرة جدا ، ولاتحدث سوى تغيرات طفيفة فيما يحيط به من أحوال وظروف خارجية .

ومما يزيد الامر تعقيدا أن عناصر أخرى تعتبر طيارة الى حد ما ؛ مثل الزئبق والزرنيخ ، موجودة فى الارض وفى النيازك . والعملية ، أيا كانت طبيعتها قد تنتج عنها فقد بعض المواد التى لا تتطاير وبقاء مواد أخرى بعضها سهل التطاير .

ويسهل حل الموضوع اذا ثبت أن الشمس فى الطور الملائم من تاريخ المجموعة الشمسية اشتدت اضاءتها اشتدادا كبيرا جدا لفترة وجيزة من الزمن جردت فى أثنائها الكواكب الناشئة وقتئذ والمجموعة الشمسية نفسها من كل الغازات ، وكذلك من مقادير مناسبة من صخور السليكات المتبخرة . واذا كان هذا التوهج قد حدث لفترة قصيرة من الزمن فان ذلك كفيل بأن يتبخر الجزء الخارجى من الكواكب ذات الاحجام الكبيرة بينما يظل باطنها باردا محتفظا بالنسبة الصحيحة لعناصره . ويمكن أن يحدث شىء من هذا القبيل لنجم جديد عندما يبدد طاقة جاذبيته فى احراق ما يحمله من الايدروجين البدائى الثقيل محولا اياه الى هيليوم .

ويبدو لنا الآن أن النيازك كانت فى وقت ما أجزاء من كواكب صغيرة تتحرك حول الشمس بين مدارى المريخ والمشترى . وتركيب هذه الاجسام جدير بالملاحظة . فبعض النيازك الحديدية تحتوى على نوعين من سبائك الحديد والنيكل . تحتوى احداهما على ٦ الى ٧٪ من النيكل ، وتحتوى الاخرى على أكثر من ١٥٪ من هذا المعدن . وترتيب هاتين السبيكتين احداهما بالنسبة للاخرى داخل النيزك المعدنى ينم عن نمط يدل على أنهما تكونتا بالتبلور البطىء . ولابد أن يكون الحديد قد انصهر ثم برد ببطء ، وأن عملية التبلور قد تمت بين درجتى ٣٠٠° ، ٥٠٠° مئوية . ومعظم النيازك صخرية أكثر منها معدنية . وأغلبها من نوع يسمى

بالكوندريتات (Chondrites) وهذه عبارة عن خليط أجزاء من المعادن المتبلورة ، وأجزاء أخرى من كل من نوعى سبيكتى الحديد والنيكل . وتحتوى الكوندريتات على أجسام عجيبة تسمى الكوندرولات (Chondroles) وهى ذات مظهر زجاجى ، ومستديرة الشكل أو أحيانا كروية تقريبا . ولابد أن تكون قد تجمدت أثناء سقوطها تحت تأثير الجاذبية الارضية دون عائق . والواضح أن الكوندريتات عبارة عن خليط يحتوى على مواد معدنية تكونت فى مكان آخر قبل تجمعها فى الخليط . ومن أنواع النيازك الصخرية الأكثر ندرة ما يعرف باسم الأكوندريتات Achondrites) وهى لاتحتوى على كوندرولات ، ولكنها على أى الحالات عبارة عن خليط متكتل .

ويدل تركيب النيازك على أنها تكونت بعد سلسلة من العمليات على النحو الآتى : بعد أن صهرت المادة الاولية اختزل أوكسيد الحديد الى عنصر الحديد ، وفصل الحديد المصهور عن السيلكات بتأثير مجال الجاذبية ، ثم بعد ذلك تكونت بلورات السليكات وسبائك الحديد والنيكل خلال التبريد البطىء . ولكى ينشأ مجال لقوة الجاذبية ذو أثر فعال لابد وأن يكون حجم الجسم الذى تمت فيه هذه العمليات حجما ملائما ، يبلغ قطره ٦٠ ميلا أو أكثر . ونتيجة لتصادمات عنيفة ، تحطمت هذه الاجسام وتكونت الكوندرولات وأجزاء البللورات وقطع المعدن ، وتجمعت هذه فيما بعد مؤلفة الكوندريتات .

ويمكن الاستدلال على تاريخ وقوع هذه العمليات بثلاث طرق مختلفة باستخدام المواد المشعة . وتعتمد الطريقة الأولى على انحلال عنصر الراديوم وتحوله الى عنصر الرصاص . وتحدد هذه

الوسيلة التاريخ الذى انفصلت فيه النيازك الصخرية والمعدنية بعملية الانصهار ، وقد استدل على أنه يرجع الى ٤ر٥ بليون عام مضت . وتعتمد الطريقة الثانية على تحول عنصر الروبيديوم الى أحد نظائر عنصر الاسترونشيوم ، وتدل هذه الطريقة أيضا على أنه قد مضى ٤ر٥ بليون عام على انفصال عنصر الاسترنشيوم عن الروبيديوم الموجودين بالنيزك ، وذلك أيضا خلال عملية انصهار . وتعتمد الطريقة الثالثة على تولد عنصر الارجون من أحد نظائر عنصر البوتاسيوم ، وذلك فى النيازك الكوندريتية ، وهذه الطريقة تحدد الزمن الذى مضى على تسرب غاز الارجون بالتسخين بمدة لاتتجاوز ٤ر٣ بليون عام . والخطأ الممكن فى هذه التقديرات الثلاثة يجيز اعتبار هذه الفترات متساوية . وعلى هذا يمكننا أن نقول أن النيازك قد تكونت منذ حوالى ٤ر٥ بليون عام ، وكان تكوينها خلال فترة تبلغ بضع مئات الملايين من الاعوام أو أقل من ذلك . وواضح انها تكونت أثناء تكون المجموعة الشمسية .

ويظن كويبر أن الغازات قد تسربت من الكواكب الأولى بتأثير الاشعاع الشمسى خلال حوالى مائة مليون عام . واذا كانت المواد التى تجمعت فكونت الارض أو التى كانت الاصل فى مادة النيازك قد تعرضت للتسخين هذه المدة الطويلة لكانت حرية أن تفقد بعض أجزائها السريعة التطاير . ولكن بعض المواد المتطايرة مثل الزرنيخ توجد بالارض بل وبالنيازك أيضا . وتلك الحقائق يسهل تفسيرها اذا افترضنا أن ما حدث هو عملية تسخين سريعة ، أطاحت بالغازات وبجزء من السليكات المتطايرة الموجودة بالكواكب الاول . والراجح أن عملية من هذا القبيل قد اتخذت سبيلها ، وأكسبت المجموعة الشمسية الحديثة بعضا من حفرياتها

التى تكشف عن تاريخها القديم ، مثل النيازك ، وسطح القمر ، وربما قمرى المريخ .

ومنذ عهد قريب ، أعيدتقدير كثافة القمر والكواكب المختلفة . وفيما يلى بعض هذه الكثافات ، مقـدرة عند ضغط منخفض . عطارد : ٥ ، الزهـرة : ٤ر٤ ، الارض : ٤ر٤ ، المريخ : ٩٦ر٣ ، القمر : ٣١ر٣ . ومن الأفضل أن يفسر اختلاف الكثافة هنا على أنه اختلاف فى نسبة تواجد الحديد فى هذه الكواكب ، وأن ينم هذا بدوره عن اختلاف كمية السليكات المتبخرة من كل منها . وواضح أن الكوكب الذى فقد كثيرا من سليكاته تزداد نسبة الحديد فيه عنها فى الكوكب الذى فقد كمية أقل من السليكات .

ويجمع كل العلماء تقريبا على أن الارض كانت كلها منصهرة عند تكونها ، وأن الحديد قد غاص الى مركز الكرة الارضية فى ذلك الوقت . هذه الفـكرة سائدة وراسخة رسـوخ القصص الشعبية ، ومثلهـا فى ذلك فكرة انشـطار الارض عن الشمس ، وانشطار القمر عن الارض . فهل بدأت الارض حقا سـائلة ؟ ان ن . ل . بوين (N. L. Bowen) وغيره من علماء الجيولوجيا قد صرحوا فى مؤتمر الاكاديمية الاهلية للعلوم الذى عقد فى رانشو ساتنا فى يناير عام ١٩٥٠ ان هذا الاحتمال يساوره الشك . وعللوا ذلك بأن الأرض لو كانت فى مبدئها سائلة لترتب على ذلك وجود قدر من السليكات فى أجزائها الخارجية أكبر مما نجده الآن .

ويرجع تاريخ نظرية الارض السائلة الى كلفن (Kelvin) الذى لم يجد تفسيرا لحرارة البراكين غير أنها جزء من الحرارة البدائية للارض . وباكتشاف النشاط الاشعاعى كمصدر آخر للحرارة ،

لم يعد تفسير كلفن أمرا محتما . غير أنه لا يمكننا أيضا استبعاد امكانية ان الارض أصلا مرتفعة الحرارة بسبب طاقة الجاذبية الناجمة عن تكونها عن طريق التجمع والتراكم أو بسبب الحرارة المتولدة عن النشاط الاشعاعى . فاذا كانت فترة تكونها قد استغرقت مدة تقل عن خمسة ملايين من السنين تقريبا ، كان ذلك كفيلا بصهرها فى طور نشأتها . أما اذا تطلبت العملية فترة أطول كثيرا من هذه ، تكونت الأرض عند درجة حرارة منخفضة ؛ رغما عن الارتفاعات المؤقتة فى درجة الحرارة ، الناتجة عن تساقط العناصر الكوكبية الصلبة طيلة هذه الفترة .

واذا كانت كمية النشاط الاشعاعى فى المواد المتراكمة كبيرة الى درجة كافية ، فانها تصهر الارض الصلبة نفسها . وقد اقترح هذا التعليل لتفسير كيف بدأت الأرض فى حالة منصهرة . وحتى الآن ، لم تحدد بعد كمية العناصر المشعة فى الارض وفى غيرها من الاجرام الكوكبية والنيازك تحديدا دقيقا .

ولكن الكميات الموجودة تقارب الكميات الحرجة اللازمة لاتمام عملية الانصهار . وقد كان هذا الموضوع محورا لبعض الجدل والمعارضة . أما رأيى الشخصى فلم يصل بعد الى مرتبة اليقين .

وهناك دليل آخر . فالمريخ ، الذى يجب أن يماثل الارض من بعض الوجوه ، يحتوى وزنا على حوالى ٣٠ ٪ من الحديد والنيكل ، ومع ذلك فنحن نعلم ، بوسائل فلكية ، أن التركيب الكيميائى للمريخ تركيب متجانس فى كل أجزائه تقريبا . فاذا كان هذا صحيحا ، فانه ينفى أن المريخ كان فى الاصل منصهرا . وتدل

الندبات المشاهدة على سطح القمر على أن سبائك الحديد والنيكل كانت تتساقط عليه فى نهاية مرحلة تكوينه . ونفس السبائك كانت تتساقط على الارض أيضا ، الا أنها كانت تتبخر بفعل الطاقة المتولدة من اصطدامها بجسم يكبرها كثيرا . ومع ذلك ، فلو لم تكن الارض منصهرة فى ذلك الوقت ، لامكن العثور على بعض من سبائك النيكل والحديد فى طبقات الارض القريبة من السطح .

واذا كانت طبقة الغلاف من الارض تحتوى على الحديد ، فلعل هذا الحديد يتحرك متسربا نحو مركز الأرض ، وتحركه على هذا النحو يغير من عزم القصور الذاتى للارض . ويمكن أن نعرف عزم القصور الذاتى بأنه مجموع حاصل ضرب الكتلة عند كل نقطة من جسم الارض × مربع بعد هذه النقطة عن محور دوران الارض . فاذا كان الحديد يتحرك نحو مركز الارض ، فان هذه الكمية سوف تتناقص ومن الخصائص الميكانيكية أنه اذا قل عزم القصور الذاتى للجسم الذى يدور فان سرعة دورانه تزداد . ومن ثم ، اذا كانت سرعة دوران الأرض فى تزايد ، فان طول اليوم يتناقص .

وانا لنعلم أن وحدة الزمن عندنا فى تغير مستمر ، ولكنها تتزايد ولا تتناقص . أى أن سرعة دوران الارض تتناقص ولا تتزايد . وتدل المشاهدات الفلكية الدقيقة ، والتى يرجع بعضها الى رصد كسوفات وقعت منذ ٢٥٠٠ عاما ، على أن طول اليوم يتزايد بمعدل $\frac{١}{١٠٠٠}$ أو $\frac{٢}{١٠٠٠}$ من الثانية كل قرن . وكان من المعتقد أن التزايد فى طول اليوم ناجم عن احتكاك المد الذى تسببه الشمس والقمر . ولكن اذا حاولنا التنبؤ بالتغيرات فى الوضع الظاهرى

للقمر على أساس هذا المؤثر فحسب ، لوجدنا اختلافا بين حسابنا وبين الحقيقة المشاهدة . ومن جهة أخرى ، اذا افترضنا أن الحديد يتحرك نحو مركز الارض ، لكان من شأن التغير فى عزم القصور الذاتى أن يؤثر فى طول اليوم كما بينت . والواقع ، انه لو وضعنا فى اعتبارنا كلا العاملين ، عامل المد وعامل التغير فى عزم القصور الذاتى ، لاتفقت حساباتنا مع مشاهداتنا .

ولكى تتفق حساباتنا ، لابد أن نسلم بأن ٥٠٠٠٠ طن من الحديد تتسرب من الغلاف الى نواة الارض فى كل ثانية . وبهذا المعدل تكون الفترة اللازمة لتكون النواة المعدنية للارض هى ٥٠٠ مليون عام . وتشير بعض الحسابات الى أن العملية قد تستغرق ٢ بليون عام . والمهم فى الموضوع أن هذه الفترة الزمنية تناهز فى الدرجة عمر الارض ، والمقدر لها على وجه العموم ٥ر٤ بليون عام . واذا كان هذا التعليل صحيحا ، فان الارض تكون قد وجدت أصلا وبأجزائها الخارجية بعض الحديد ، كما لعلها كانت منصهرة تماما .

وقد تتعقد الامور حينما يبرهن لنا والتر هـ . منك وروجر ريفيل بمعهد . سكريبس لعلوم البحار أن من المحتمل أن يكون عزم القصور الذاتى للارض فى تناقص بسبب انتقال مياه المحيطات فى بطء الى القمم الثلجية فى جرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية وأن هذه العملية يمكن أن تفسر تزايد طول اليوم دون افتراض تحرك الحديد نحو مركز الأرض ، على الأقل ليس بالمعدل الذى توصلت اليه وذكرته من قبل ، وعلى ضوء هذا الرأى لمنك وريفيل لايكون لدينا فى الواقع دليل على تحرك الحديد نحو مركز الأرض

ومع كل ، فدليلنا على الرأى المضاد نذر يسير . والأمر لايزال مفتقرا الى مشاهدات وأرصاد جديدة .

والآن نعاود فى اختصار سرد تسلسل الحوادث الممكنة . امتدت سحابة ضخمة من الغبار والغاز فى مكان خال فى المجرة وتعرضت هذه للضغط الناشىء عن ضوء النجوم . وبعد ذلك تزايدت سرعة عملية التراكم بتأثير قوى الجاذبية ، وبطريقة ما ، ولم تتضح لنا بعد ، ثم تكونت الشمس ، فأشعت ضوءا وحرارة بالقدر الذى تشعه اليوم . وتولدت دوامات مضطربة من سحابة الغبار والغاز الهائمة حول الشمس ، ومن هذه نشأت بداية الكواكب الحالية واحدة لكل كوكب ، وربما واحدة أيضا لكل من المخلفات الواقعة بين المريخ والمشترى . عند هذه المرحلة من العملية ، تم تراكم الاجسام الكوكبية الكبيرة بواسطة تكاثف الماء والنوشادر . ومن بين هذه تميز الجسم الاساسى للقمر ، وآخر أكبر لكوكب الارض . وكانت درجة حرارة هذه الاجسام منخفضة فى بادىء أمرها ، الا أنها ارتفعت فيما بعد لدرجة تصهر الحديد . وفى مرحلة البرودة تراكمت المياه فى هذه الاجسام . وفى المرحلة الساخنةالتى يمكن غزوها الى ارتفاع كبير مؤقت فى درجة حرارة الشمس ، احتجز الفحم على صورة جرافيت ، أو مركبات كربونية . وعندئذ تسربت الغازات واتحدت الكويكبات بفعل التصادم .

على هذا النحو ، ربما تكونت الارض .

ولكن ماذا حدث منذ ذلك الحين ؟ لقد حدثت بالطبع أمور كثيرة ، ومن بينها نشأة الهواء الجوى وتطوره . والمرجح أن الارض ، بعد أن اكتمل تكونها واستوت جسما صلبا ، كان يغلفها

جو من بخار الماء والآزوت والميثان وبعض الايدروجين وكميات ضئيله من غازات أخرى .

أدلى ج . هـ . ج . بول (J. H. J. Poole) بجامعة دبلن باقتراحه الاساسى أن تسرب الايدروجين من الارض أدى الى وجود الجو المؤكسد . وما يحتويه الميثان ($ك ا_{٤}$) والنوشادر ($ن ا_{٣}$) من الايدروجين قد يكون قد تسرب ببطء مخلفا الازوت وثانى أكسيد الكربون والماء وغاز الاوكسجين . وأنا اعتقد أن هذا هو ماحدث غير أن ظهور الاوكسجين لابد أن يكون قد سبقه ظهور كثير من الجزيئات الاخرى المحتوية على الايدروجين والكربون والازوت والاوكسجين . واخيرا دبت الحياة على سطح الارض ، كما بدأت عملية التمثيل الضوئى الاساسية ، التى تمكن النباتات من تحويل ثانى أكسيد الكربون والماء الى مواد غذائية وأوكسجين ثم بدأ تطور الهواء المؤكسد كما نعرفه اليوم . وحتى اليوم ، لايزال التطور الطبيعى والكيميائى للارض وجوها مستمرا .

* * *

القسم الثانى

الكرة الصخرية
النواة والغلاف

●

الجزء الاول : باطن الأرض

بقلم : ك . أ . بولين

بعد ان اتم بولين دراسته الجامعية وتخصص فى علم الرياضة بموطنه أوكلاند بنيوزيلاند ، اتجه الى دراسة الفيزياء الارضية عام ١٩٣١ متاثرا بعاملين : الاول هو زلزال خليج هوك الذى وقع فى شهر فبراير من ذلك العام ، ويعتبر اكبر كارثة اصابت نيوزيلاند ، والثانى هو سفره فى بعثة الى جامعة كمبردج ، حيث التقى بالعالم السيسمولوجى الكبير السير هارولد جفرى . وبعد عامين ونصف عام عاد بولين الى أوكلاند وقد تخصص فى علم السيسيولوجيا . ولا يزال يباشر عمله منذ عام ١٩٤٦ استاذا بجامعة سيدنى باوستراليا .

الجزء الثانى : حرارة الأرض

بقلم : أ . أ . بنفيلد

تخرج بنفيلد من معهد « ماساشوشيتس » للعلوم التطبيقية عام ١٩٣٤ ثم سافر الى جامعة كمبردج حيث حصل على درجة الدكتوراه فى علم الفيزياء الارضية . واشتغل فترة بالتدريس بكلية وليامز ، ثم ادى واجبه العسكرى أثناء الحرب بمعمل

الاشعة التابع لمعهد ماساشوشيتس ، وعين بعد ذلك بجامعة هارفارد حيث يشغل الان وظيفة استاذ مساعد كما يقوم بالاشراف على المعامل الكهربائية بقسم العلوم التطبيقية .

الجزء الثالث : حرارة الأرض

بقلم : س . ك رانكورن

يشغل رانكورن منصب المدير المساعد للابحاث بقسم المساحة والفيزياء الارضية بجامعة كمبردج ، وهو زميل بكلية « جونفيل وكاياس » . وقد بدأ اهتمامه بعلم الفيزياء الارضية أثناء عمله مع ب . م . س بلاكيت (P.M.S. Blackett) بجامعة مانشستر حيث حصل على درجة الدكتوراه . ويوجه رانكورن نشاطه واهتمامه الحاليين الى دراسة مغناطيسية الصخور ، وقد قضى فصول الصيف فى الاعوام المنصرمة جامعا عينات الصخور من سهول كولورادو ليستعين بها فى دراساته لتحديد اعمارها من واقع خصائصها المغنطيسية .

باطن الأرض

بقلم

ك . ا . بولين

تهتز الارض بتأثير مايربو على عشرة زلازل كبرى فى كل عام . والطاقة المنبعثة من أقل هذه الزلازل شدة تناهز الطاقة المنبعثة من ألف قنبلة ذرية . وتقدر طاقة زلزال اسام فى أغسطس عام ١٩٥٠ بما يقرب من مائة مليون قنبلة ذرية . وتنتقل الموجات الصادرة عن هذه الهزات خلال باطن الارض بأجمعه بما فى ذلك نواة الارض. فتتخذ مسارات منحنية وتتشكل حسب ما تخترقــه من طبقات . وعلى هذا فان موجات الزلازل تحكى لنا بعضا من طبيعة الارض التى تخترقها ، وعندما تستقبلها محطاتنا السيسمولوجية على سطح الارض ، يمكننا ان نترجم ما تحكيه الى صــورة نستخلصها عن باطن الأرض ، وكأنى بالعالم السيسمولوجى وهو يمعن النظر فيما سجلته أجهزته فى الظلام خلال قطعة من الزجاج ، انما يكشف عن باطن الأرض بجهاز أشعة سينية .

وقد ظفر علم السيسمولوجيا بمعلوماتنا عن باطن الارض من

طور التصورات المتخبطة الى طور القياسات العلمية والاستنتاجات المبنية على أسس سليمة . ويرتبط هذا العلم بمعلوماتنا الجيولوجية عن الصخور السطحية ، وبالتجارب العملية التى تجرى فى المعامل على الصخور عند الضغوط العالية ، وببعض مشاهدات فلكية معينة ، وبذلك يمكننا أن نضع أساسا لتفهم الحالات المنوعة السائدة عند الأغوار العميقة ، طبقاتها الممتدة ، وموادها ، وخصائصها الطبيعية ، والضغوط وما الى ذلك .

وتعتبر دراسة الزلازل من العلوم الحديثة . ففى عام ١٧٥٠ نشرت مجلة Philosophysical Transactions التى تصدرها جمعية لندن الملكية ، مقالا لاحدث الكتاب فى هذا الموضوع يعتذر فيه كاتبه الى « هؤلاء الذين تضايقهم أية محاولة لتفسير الزلازل تفسيرا طبيعيا » . غير ان هذا لم يمنع تراكم مشاهداتنا عن تأثير الزلازل ، بحيث برز علم السيسمولوجيا فى أواخر القرن التاسع عشر كعلم كمى حقيقى ، عندما أنشأ جون ميلن (John Milne) الانجليزى فى اليابان جهازا لتسجيل الذبذبات الارضية (السيسموجراف) ، يصلح للاستعمال على نطاق عالمى . وقد أدخلت بعد ذلك تعديلات على هذا الجهاز ، يرجع الفضل فيها على الاخص الى أ . فيشارت (E. Wiechert) بألمانيا والامير جاليتزين (Prince Galitzin) فى روسيا ، وحديثا هوجو بنيوف (Hugo Benioff) بمعهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية .

ان انطلاق طاقة الاجهاد المرن (elastic-strain energy) عند المصدر أو « بؤرة » ، الزلزال ، يولد موجات تنتشر فى جميع الاتجاهات بادئة من البؤرة . وفى عام ١٨٩٧ ميز العالم البريطانى

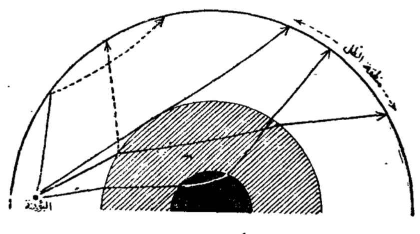
ر.د. أولدهام (R. D. Oldham) فى الخرائط السيسمولوجية أنواعا ثلاثة من الموجات السيسمولوجية : (١) الموجات الأولية ، وهى عبارة عن أمواج تخلخلية وتضاغطية كأمواج الصوت و(٢) الموجات الثانوية وهذه تتذبذب عمودية على اتجاه انتقال الأمواج ، مثلها فى ذلك مثل أمواج الضوء و (٣) الموجات السطحية التى تظهر قرب السطح فى طبقة سمكها حوالى ٢٠ ميلا . وتنتقل الموجات الأولية خلال أجزاء الأرض الصلبة والسائلة ، بينما تنتقل الموجات الثانوية خلال الطبقات الصلبة فقط .

وتبلغ سرعة انطلاق الموجات الثـانوية ثلثى انطلاق الموجات الاولية . وتتغير كلتـا السرعتين بتغير عمقهما فى الارض . فأقصى سرعة لانتقال الموجات الاولية مثلا هى ٨٫٥ ميل فى الثانية وذلك على عمق ١٨٠٠ ميل ، وتهبط هذه السرعة الى ثلاثة أميال فى الثانية فى الصخور القريبـة من الارض . وبسبب تغير السرعة ، يميـل مسار هذه الامواج الى الانحناء الى أعلى . فعند ماتقابل الموجات سطحا يفصل طبقة عن أخرى تنعكس هـذه الموجات أو تنكسر ، وعند ما تصل الى القشرة السطحية تنعكس ثانية الى أسفل . وعند سطح الانفصال بين طبقتين تنشـأ عن كل من الموجات الاوليـة أو الموجات الثانوية موجات أخرى أولية وثانوية . ومن ثم ، فان أى تسجيل سيسولوجى لزلزال معين قد يبين لنا بوضوح أطوارا تميز مراحل انتقال الموجات ، والتغيرات التى طرأت على أشكالها .

بهذا الاسلوب من الاستدلال أثبت أولد هام فى عام ١٩٠٦ أن للارض نواة ضخمة تقع بداخلها وتتحد معها فى المركز ، كمـا أمكن بينوجوتنبرج (Beno Gutenberg) فى عام ١٩١٤ أن يحدد

موضع سطح هذه النواة على عمق ١٨٠٠ ميل تحت سطح الارض . وكان جوتنبرج فى هـذا الوقت فى ألمانيـا . وبما أن نصف قطر الارض يبلغ حوالى ٣٩٠٠ ميل ، فان نصف قطر النواة يبلغ حوالى ٢١٦٠ ميلا .

كان اكتشاف نواة الارض نتيجة لرصد ما يسمى « بمناطق الظل » حيث يقل نسبيا ما يسجل من الموجات الاولية . ولنعتبر موجات أوليـة صادرة من زلزال كبير تقـع بؤرته عند القطب الجنوبى . هذه الموجات يمكن رصدها فى النصف الجنوبى من



شكل (١)

تنحرف موجات الزلزال وتنعكس وهى فى طريقها من مصدرها . ونمثل الخطوط الكاملة الموجات الابتدائية. كما نمثل الخطوط المتقطعة الموجات الثانوية الناشئة عن الانعكاس . وتنشأ منطقة الظل لاى موقع معين لبؤرة الزلزال من انعكاس الموجات وانكسارها عند النواة . والموجات الاولية الوحيدة التى يمكن ان تصل الى منطقة الظل هى تلك التى تنفذ داخل النواة وتنحرف انحرافا حادا .

الكرة الارضـيـة ، وأيضـا فى النصف الشمالى حتى درجة ١٥ شمالا (أى عند خط عرض جواتيمالا) . ويندر استقبال الموجات الاولية فى المنطقة مابين خطى عرض ١٥ شمالا ، ٥٢ شمالا ، ولذلك

تسمى بمنطقة الظل ، أما الموجات التى تستقبلها أجهزة الرصد فى المنطقة ما بين خط عرض ٥٢ شمالا والقطب الشمالى فأثرها واضح جلى لشدتها . وتقع الولايات المتحدة بأكملها فى منطقة الظل بالنسبة لمثل هذا الزلزال . وبالدراسة وجد أن مناطق الظل هذه مردها وجود نواة عند مركز الارض ، حيث تنحرف الموجات الاولية الاتية من أعلى انحرافا حادا الى أسفل ، وذلك شبيه بما يحدث لموجات الضوء الصادرة من عصاة مغمورة فى الماء ، اد تنكسر هذه الموجات عند سطح الماء « انظر الشكل (١) » .

كان من بين الاعمال العظيمة التى اضطلع بها السيسمولوجيود خلال الاربعين عاما الاولى من هذا القرن أن وضعوا جداول يمكن الوثوق بها لمعرفة أوقات وصول الموجات الاولية والموجات الثانوية وهى فى مختلف أوجه مساراتها . وفى عام ١٩٣٠ ، عند ما ساور السير هارولد جفرى بجامعة كمبردج الشك فى وجود أخطاء كبيرة بجداول « أزمنة الوصول » الموجودة وقتئذ ، بدأ جفرى سلسلة طويلة من الدراسات لتصحيح هذه الجداول . وقد اشترك مؤلف هذا الجزء من الكتاب مع جفرى فى هذا العمل من عام ١٩٣١ حتى عام ١٩٣٩ .

وجداول جفرى ـ بولين الموضوعة عام ١٩٤٠ تستعمل الان على نطاق دولى . وتتفق هذه الجداول اتفاقا كبيرا فى أصولها مع « أزمنة الوصول » التى استنبطها فى نفس الوقت تقريبا كل من جوتنبرج وتشارلزف . ريشتار (Charles Richter) بمعهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية. وهذه الجداول ذات أهمية قصوي للتعرف علي المركبات المختلفة لطبقات الأرض. وبواسطتها يمكن استنباط الأزمنة من الموجات الأولية والموجات الثانوية عند مختلف

طبقات الكرة الأرضية . وبدراسة تغير السرعة مع العمق ، يمكن لنا أن نتعرف على أعماق السطوح التى تفصل بين هذه الطبقات .

وباستخدام الجداول ، توصل جفرى بحساباته الى أن عمق اسطح الفاصل لنواة الارض لا يختلف بأكثر من ثلاثة أو أربعة أميال عن تقدير جوتنبرج له بألف وثمانمائة ميل . وقد قدر أن الجزء الخارجى على الاقل من نواة الارض منصهر ، ولذلك لا تنفذ الموجات الثانوية خلالها . وهناك أدلة أخرى على ميوعة هذا الجزء ، ومن بين هذه الأدلة البيانات عن تشوه شكل الارض الصلبة بفعل عوامل المد ، والبيانات الفلكية عن تحركات قطبى الارض . وتدل حسابات هـ . تاكوتشى (H. Takeuchi) اذ تنكسر هذه الموجات عند سطح الماء « انظر الشكل (١) » . المنطقة التى تغلفها .

واستخدام التعبيرين « صلب » و « مائع » ، مرتبطين بالضغوط الهائلة والسائدة فى باطن الارض يكون فى بعض الاحيان موضع التساؤل . وما يقصده عالم الفيزياء الارضية بلفظ «صلب» فى هذا الصدد هو أن خواص مرونة المادة التى تعنينا يمكن وصفها بمعادلات تناظر المعادلات التى نطبقها فى الظروف المعتادة على المواد الصلبة العادية . وفى هذه المعادلات يرد استعمال مغاملين : « معامل اللاانضغاطية (Incompressibility) وهو مقياس مقاومة الجسم للضغط ، و«معامل الصلابة» (Rigidity) ويعبر عن مقاومة الجسم للانفعال القصي (Chearing stress) سرعة . كل من الموجات الأولية والموجات الثانوية عند التعرض

للضغط ، وهـذا هو السبب فى أن الموجات الثـانوية لا تنفـذ خلال الموائع .

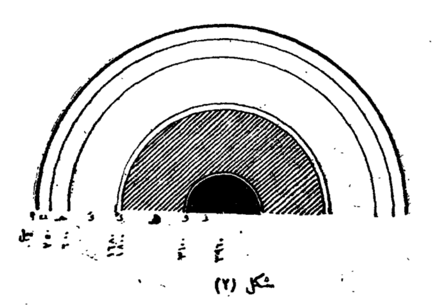
والجـزء من الارض الذى يحيط بالنـواة يسمى بالغـلاف والمعروف الآن أن كل الغلاف صلب فى أساسه (فيما عدا المحيطات وجيوب الحمم فى المناطق البركانية) ، وتنتقل كل من الموجات الاولية والموجات الثانوية خلال كل جزء من أجزاء الغلاف ولذلك اعتبرناه صـلبا . وبينما كان العـالم السيسمولوجى الكرواتى أ.موهوروفيتشيك (A. Mohoroicic) يدرس تسجيلا سيسمولوجيا لزلزال حدث فى البلقان عام ١٩٠٩ اكتشف وجود سطح انفصال هام ، واقع على عمق ٢٠ ميلا تحت سـطح الارض .و قد سمى باسمه وهو السطح الفاصل بين طبقة الغلاف والقشرة الأرضية ، ولو أن تعبير « القشرة الارضية » يحمل الان معنى اصطلاحيا وتشير الادلة السيسمولوجية الى أن القشرة ليست أكثر صـلابة من المادة التى تقع أسفلها مباشرة .

ومن الناحية السيمولوجية ، تختلف القشرة عن الجزء الذى يليها من الغلاف فى سرعة انتقال الموجات الاولية والثانوية فيها أقل منها فى هذا الجزء ، كما ان هذه السرعة أكثر تغيرا فى القشرة . وعدم انتظام السرعة هذا يجعل التعرف على التركيبات المختلفـة لطبقات القشرة أمرا عسيرا ، الا أن العمل دائب فى هذا السـبيل بطرق شتى ، كدراسة الموجات السطحية ، ودراسة الموجات الاولية والثانوية المنبعثة من زلازل قريبة من محطة الرصـد ، والموجات المنبعثة من الانفجارات الكبيرة الصناعية بفعل الانسان ، كعملية تفجير الذخـيرة التى تمت فى جزيرة هليجولاند عام ١٩٤٧ ، أو

باستخدام الديناميت فى عمليات الرصد السيسمولوجى كما يحدث عند التنقيب عن البترول . ومن نتائج الاكتشافات الهامة أن سمك القشرة يقل كثيرا تحت المحيطات عنه تحت القارات .

وقد تم التعرف حتى الآن على سبع مناطق أو طبقات متميزة فى الارض . ففى عام ١٩٣٦ اكتشفت مس أ . ليمان (Miss I. Lehmann) الدانيماركية أن نواة الارض ليست موحدة التركيب ، بل يبدو أنها تتكون من جزءين مختلفين على الأقل . وبامعان النظر فى الموجات الاولية الضئيلة نسبيا والتى نادرا ما تنبعث فى منطقة الظل الواقعة على سطح الارض ، استنتجت « ليمان » احتمال وصول هذه الموجات بعد أن عانت انحرافا حادا الى أعلى لدى مرورها فى الجزء الداخلى من النواة حيث تكون سرعة انتقال الأمواج أكبر منها فى الجزء الخارجى من النواة . وقد تأيد تفسيرها هذا بمشاهدات جوتنبرج وريشتار وجفرى . ويقدر نصف قطر الجزء الداخلى من النواة حوالى ٨٠٠ ميل ، ويبلغ سمك الجزء الخارجى للنواة حوالى ١٣٠٠ ميل .

وقد قسم الكاتب جسم الارض الى سبع طبقات يرمز اليها بالاحرف أ ، ب ، جـ ، د ، هـ ، و ، ز تتميز فيما بينها على أساس التغيرات فى الكثافة . (انظر شكل٢) فالطبقة « أ » تمثل القشرة. وطبقة الغلاف تمثلها المناطق ب ، جـ ، د ، كما أن د مقسمة الى منطقتين فرعيتين ى ،ىً . ولا يزال هذا التقسيم فى مرحلة الاختبار ، نظرا لان تقدير معدلات التغير فى السرعة لا يزال مفتقرا الى كثير من أوجه التثبت من صحته . ويرمز الى الجزء الخارجى من النواة بالرمز هـ ، والى الجـزء الداخلى بالرمز ز . وبين هاتين الطبقتين



شكل (٢)

ينقسم مقطع الارض الى طبقات تختلف سرعة انتقال الامواج في كل منها عن الاخرى . يبين الجزء المظلل الجزء الخارجى من النواة ، ويبين الجـــزء الاسود الجزء الداخلى من النواة . وتوجد فوارق كبيرة فى السرعة بين النواة غلاف الارض « الطبقات ب و حـ و ءَ و َ » ، توجد بين الجزءين الداخلى والخارجى من النواة . وتمثل الطبقة أ قشرة الارض .

يحد جفرى طبقة اخرى و ، يبـــلغ سمكها ٨٠ ميلا ، حيث تهبط سرعة الموجات الابتدائية فيها هبوطا كبيرا . ولو أن جوتنبرج لم يكشف عن هذه الطبقة الاخيرة الا أنه يقـــول أن البيانات التى حصل عليها لا تنفى احتمال وجودها .

كيف يتسنى لنا أن تقدر الضغوط والخصائص الطبيعية للمادة عنـــد الاعماق المختلفـــة فى جسم الارض ؟ ان سرعات الموجات الاولية والثانوية تحددها الكثافة ومعامل الانضغاطية ومعـــامل الصـــلابة للمواد التى تخترقها الموجات ، ولكن هـــذه السرعات لاتمدنا بالمعلومات الكافية لحل معادلات صحيحة لهذه المقادير . وعلى كل ، فهنـــاك طرق غير مباشرة تســـاعد على الوصول الى تقديرات لها ، ومنها : معلوماتنا عن كتلة الارض ، وعزم قصورها

الذاتى ، ومشاهداتنا فى حقول التجارب ، وتجاربنا فى المعمل على الصخور ، والنظريات الرياضية عن المرونة والجذب التثاقلى .

بمثل هذه الوسائل قدر المؤلف أن كثافة الارض تتزايد تدريجيا من ٣ر٣ جم/سم³ تحت القشرة مباشرة الى٥ر٥جم/سم³ عند أسفل الطبقة الغلافية . ثم ترتفع الكثافة فجأة الى ٥ر٩ جم/سم³ عند سطح النواة ثم تتزايد تدريجيا الى ٥ر١١ جم/سم³ عند قاع الطبقة الخارجية للنواة .

وقد حسبت علاقة تزايد الضغط بزيادة العمق تحت سطح الأرض . ويبلغ الضغط عند قاع المحيط الهادى حوالى ٨٠٠ ضغطا جويا ، وعند عمق ٢٠٠ ميل فقط تحت القشرة يصل الضغط الى ١٠٠ر٠٠٠ ضغطا جويا ، وهو أعلى ضغط أمكن تحقيقه فى المعمل (استخدم هذا الضغط فى تجاربه على الصخور برسى و . بردجمان (Percy W. Bridgmann) بجامعة هارفارد) . وعند سطح النواة مباشرة أى على عمق ١٨٠٠ ميل يصل الضغط الى ١ ½ مليون ضغطا جويا ، ويأخذ فى الازدياد الى حوالى أربعة ملايين ضغطا جويا عند مركز الارض .

والحقيقة المدهشة التى أدت اليها النتائج هى أن معامل الصلابة لمادة الارض فى الغلاف تتزايد بازدياد العمق ، الى أن يصل عند سطح نواة الارض الى حوالى أربعة أمثال معامل صلابة معدن الصلب فى الحالات العادية . وبعد ذلك ، أى فى الطبقة الخارجية للنواة يهبط معامل الصلابة عمليا الى الصفر ، مما يدل على أن هذا الجزء مائع .

ولعل أكبر فائدة أدت اليها هذه السلسلة من الحسابات هى

ما يتعلق بمعـامل الانضغاطية . فالبرغم من التغـيرات الحادة فى الكثافة ومعامل الصلابة عند السطح الفاصل بين النواة والغلاف ، فانه ، طبقا للحسابات ، لا يتغير معامل الانضغاطية كثيرا عند هذا السطح . وهـذه النتائج قد حملت المؤلف على أن يدرس نظريا تأثير الضغوط العالية ، من قبيل مليون ضغط جوى فأكثر ، على المواد التى يحتمـل وجودها فى نواة الارض . فاذا وضـعنا فى الاعتبار طائفة منوعة من الادلة ، لاستنتجنا امكان وضع حد لمعامل الانضغاطية للمواد الموجودة فى نواة الارض .

وباتباع هذا الاسلوب فى الاستدلال ، يبدو لنا أنه من المحتمل جدا أن يكون الجزء المركزى للنـواة صلبا وذلك بعكس جزئها الخارجى . هذا الرأى الذى ساقه المؤلف فى عام ١٩٤٦ ، والذى تطور منذ ذلك الحين ، يفسر تزايد سرعة الموجات الاوليـة لدى تغلغلها فى الجزء المركزى للنواة . وتدل الحسابات على أن معامل مادة الجزء الداخلى للنواة يبلغ على الاقل ضعف معامل صـلابة معدن الصلب عند الضغوط العادية .

وبنفس الاسلوب الاستدلالى ، نستطيع تقـدير كثافة الجزء المركزى للنواة الامر الذى لم يكن ممكنا من قبل . والظاهر أن الكثافة عند مركز الارض تقع بين ١٤ ٫١/٢ ، ١٨ جم/سم٣ غير أن هنـاك ما يشـير الى أن تزايد الكثافة بازدياد العمق فى الجـزء الداخلى للنواة (وعنـد قاع الطبقة الغـلافية للارض) يفـوق المتوسط ، الأمر الذى يفيد ضمنا أن هنـاك تغيرا ما يطرأ على تركيب هذه المنطقة .

من أى المواد تتركب الارض عند أعماقها السحقية ؟ لقد كان

هناك من الدلائل الوجيهة ما حملنا سنين طوالا على الاعتقاد بأن جزءا كبيرا من الارض فيما تحت القشرة يتكون من صخور فوق قلوية مثل سليكات حديد المغنسيوم . ويبدو أن المنطقة ب تتكون من مادة شبيهة بمادة معــدن « الاوليفين » المعروف . أما المنطقة حـ فيبدو أنها منطقة انتقالية ، يتغير فيها التركيب ، ربما من أحد الاشكال الهندسية للاوليفين الى شكل آخر . وقد تتكون المنطقة د من عدة مواد معينـــة كالسليكا والمغنيسيا وأوكسيد الحديد . أما المنطقة د التى تحد طبقة الغلاف من أســفل فيحتمل أن تكون ذات تركيب متغير ، الا أنه لا يوجد حتى الان اتفــاق مرض عن ماهية المواد التى رسبت عند مثل هذه الاعماق.

أما تركيب النواة وهى الجزء الداخلى من الارض ، فقد كان مؤخرا محورا لكثــير من الجــديد والمهم من أنواع الحــدس والتخمين . فقد ساد طويلا الافتراض أن معظم النواة يتركب من الحديد وسبائك الحديد والنيكل . وقد لقى هذا الفرض تأييدا من واقع نتائج تحليل النيازك التى يعتقــد أنها أجزاء من كوكب متفجر شبيه بالارض . غير أن و . كون (W. Kuhn) و أ . ريتمان (A. Rittmann) بألمانيا قد وضعا فى عام ١٩٤١ نظريتهما الاساسية التى تفترض أن نواة الأرض تتكون من أيدروجين مضغوط . وصحيح أن هذه النظرية تتناقض مع بعض الاعتبارات الهــامة ، الا أنها فتحت مجالا للبحث مبنيا على فكرة أن المواد فى المنطقة السفلى للطبقة الغلافية للارض قد تتغير كثافتها تغيرا كبيرا وفجائيا بفعل الضــغوط الكبيرة . وعلى هــذا ، فقــد لا يتكون الجزء الخارجى من النــواة من الحــديد والنيكل غير المتحدين ، بل من أنواع مرتفعــة الكثافة من الصخور الموجودة خارج النواة .

تلك نظرية جدلية بحتة . واذا قورنت الاحتمالات نجد أن الادلة التى لدينا تجنح الى تفضيل فرض وسط : ألا وهو أن الجزء الخارجى للنواة يتكون من كل من الحديد غير المتحد ومن مادة أخرى أقل كثيرا فى عددها الذرى .

ومن المظاهر الهامة للنظرية الجديدة أنها تساعد على قبول فكرة أن كواكب المريخ والزهرة وعطارد والارض تتماثل جميعا فى تركيبها الأولى العام . وقد أوضح « جفرى » أن الارض لا يمكن أن تتركب من نفس مواد الكواكب الاخرى اذا كانت مركبات نواة الارض تختلف اختلافا تاما عن تركيب غلافها وطبقا لحسابات و. هـ . رامزى (W. H. Ramsey) البريطانى والمؤلف ، فان كتلتى كوكبى المريخ والزهرة ، وقطريهما ، وكذلك التسطح المشاهد فى كوكب المريخ ، كل هذا يمكن أن يفسر تفسيرا مقبولا اذا افترضنا هذين الكوكبين يتركبان من نفس المواد الارضية . بعد تأثرها بعامل زيادة الضغط مع العمق .

أما عن الجزء المركزى للنواة ، فيحتمل أن يكون مركبا من النيكل والحديد ، وربما كذلك من بعض المواد الأكثر كثافة .

أما تقديراتنا لدرجات الحرارة فى باطن الارض ، فنحن أقل تأكيدا منها عن تقديراتنا للضغوط . ففى المناجم العميقه تزداد درجة الحرارة بمعدل ٣٠ درجة مئوية لكل ميل كلما تعمقنا فى المنجم . ولو استمرت الزيادة بهذا المعدل لزادت درجة الحرارة عن ١٠٠٫٠٠٠ درجة عند مركز الارض . والواقع أنه أصبح من

المؤكد عمليا أن معدل الزيادة فى درجة الحرارة يقل عند الاعماق عن المعدل المذكور . وتدل التقديرات الحالية على أن درجة الحرارة عند مركز الارض لا تتجاوز ٢٠٠٠ الى ٦٥٠٠ درجة . وعلى كل ، فالواضح جدا أن الارتفاع فى الحرارة فى باطن الارض يتضاءل كثيرا ازاء الارتفاع فى الضغط .

حرارة الأرض

بقـــلم

أ. أ. بنفيلر

عند ما يفحص الطبيب مريضا فانه يهتم بمعرفة درجة حرارته . ودرجة الحرارة ، مع غيرها من الاختبارات ، تساعد الطبيب على فهم ما يجرى داخل جسم المريض ، وكذلك يأمل الجيوفيزيائى أن يحصل على بعض القرائن التى تهديه الى ما يجرى بداخل الارض ، وذلك بقياس درجة حرارتها . وطبيعى أن مهمة الجيوفيزيائى هى فى هذا الصدد أشق كثيرا من مهمة الطبيب ، لان الارض ، بعكس الانسان ، لا تملك منظما ذاتيا يوحد درجة حرارتها ، كمـا أنه لا يمكننا أن ندخل مقياسا للحرارة الى أعمق من الجزء الخارجى من القشرة الارضية . وخير ما نستطيع عمله هو أن نقيس درجة الحرارة فى آبار الزيت العميقة ، وفى المناجم ، وفى أنفاق السكك الحديدية ، وغير ذلك ، وهذه جميعا لا تتعمق فى القشرة السطحية الى أكثر من بضعة آلاف قليلة من الاقدام . وأكبر عمق وصـل اليه الانسان فى حفر الآبار هو أربعة أميال تقريبا . ونحن لا نعدو الصـواب اذا قلنا اننا ستتمكن من الطيران الى أجواز الفضـاء

الواقع بين مجموعتنا الشمسية ، والوصـــول الى أحد الكواكب المجاورة لنا ، وأنه سيمضى بعد ذلك وقت طويل قبل أن نهتـــدى الى سبيل ننفــذ به الى مركز كوكبنا ، الذى يقــع على عمــق ٤٠٠٠ ميل .

ومع كل ، فبالرغم من ضـــآلة معلوماتنا عن حرارة الارض ، فاننا نفيد من الضئيل الذى نعلمه . وللموضوع بالطبع أوجهـــه الاستغلالية . فمنذ آلاف السنين أدرك انسان ما قبل التاريخ أن عليه ألا يقترب كثيرا من البركان الثائر ، كما تعــلم أن يستعمل ينابيــع المياه الدافئــة فى الاستحمام وفى الاغراض الطبية . وفى « ريكجافيك » عاصمة ايسلاند البركانية ، تدفأ المكاتب والمنازل الآن بميـــاه ساخنة طبيعية تجلبها الأنابيب من جوف الأرض . ويولى المهندسون فى أنحـــاء أخرى اهتماما كبيرا الى امكانيـــة استعمال المضخات الحرارية فى تدفئة المنازل شتاء وتبريدها صيفا ، وذلك بأن تنقـــل تلك المضخات الحرارة من الارض الى المنـــازل وبالعكس . وتساعد دراسة الحرارة عند الاعماق فى التنقيب عن البترول وانتاجه . أما فى المناجم العميقة جدا مثل منـــاجم الذهب بجنوب أفريقيا فانارتفاع الحرارة يمثل اشكالا خطيرا ، ولا بد من توفير وسائل لتخفيض درجة الحرارة تخفيضا كافيـــا يمـــكن العمال من البقاء والعمل داخل المناجم .

واهتمامنا بحـــرارة الأرض هو نفس اهتمام الطبيب بحرارة المريض ، اننا نسعى لمعرفة ما يمكن أن تنبئنا به عن باطن الأرض الذى لا يمكننا أن نسبر غوره بأنفسنا ، مما يمكننا من أن ندرك كيف تكونت الجبال ، وماذا يثير البراكين ، وكيف نشـــأ المجال المغناطيسى الارضى ، ولماذا غورت المحيطات حيث هى الان ، وغير

ذلك من الامور المثيرة التى طالما شغلت أذهان أســاتذة الفيزياء الأرضية .

والمعروف منذ سنوات عديدة أن درجة حرارة الارض ترتفع باطراد كلما تعمقنا تحت سطح الأرض . وطبيعى أن هذا لاينطبق على بضع عشرات الاقدام القليلة السطحية اذ نحس بالبرودة لدى نزولنا فى أحد أيام الربيع الدافئة الى حجرة تحت سطح الارض ، حيث لا تزال الارض محتفظة ببعض برودة الشتاء السابق . غير أنه عند أكثر من ٥٠ قدما تحت السطح يندر أن نحس بأثر التغير الموسمى فى درجة الحرارة . وتحت هذا العمق ، تستمر الحرارة فى الارتفاع التدريجى ، وتصل الى درجة غليان الماء عند قاع بعض آبار الزيت العميقة بكاليفورنيا وغيرها من الاماكن .

لماذا ترتفع الحرارة دائما بازدياد العمق ؟ الاجابات على هــذا السؤال متعددة كما يبين ذلك هارولد يورى فى الجزء الاول من هذا الكتاب . والرأى المأثور هو أن الارض نشأت جسما ساخنا ، وانها لا تزال تحتفظ فى جوفها بجزء كبير من حرارتها الابتدائية . ومن السهل أن نفهم كيف يحدث هذا اذا سلمنا بأن الارض كانت جزءا من الشمس أو قطعة من كوكب ما وانفصلت عنــه نتيجة اقتراب نجمين أو أكثر كل من الآخر اقترابا كبيرا . وهناك نظرية أخرى تعرف بنظرية « سحابة الغبــار » ، وتنص على أن الارض تكونت نتيجة اندماج تدريجى بخليط بارد من الغبــار والغازات والجسيمات الصغيرة فى الفضاء الواقع بين النجوم .. والكوكب اذا نما بهــذه الطريقة خليق بأن ينتهى بسطح ساخن نتيجة انصهــار وتبخر الجسيمات المتساقطة عليــه بسرعــة عند الاصطدام به فى

مرحلة تمام نموه . وفى نفس الوقت سيكون باطن الكوكب قد سخن بسبب تضاغطه تحت ثقل المواد المتزايدة والمتراكمة على سطحه وغير ذلك من الاسباب ، غير أنه من الممكن أن يكون هذا الارتفاع فى درجة حرارة باطنه غير كاف لصهره .

ومع كل ، فنحن لا يمكننا أن نتأكد من أن الارض كانت ساخنة جدا وقت تكونها . واستنادا الى ما نشاهده من كثرة العناصر الموجودة بقشرة الأرض ، فقد وضع يورى مؤخرا نظريته القائلة باحتمال أن تكون الارض قد تكونت عند درجة حرارة منخفضة نسبيا . ومن سبق الحوادث أن تتكهن بالاثر الذى ستحدثه هذه النظرية فى آرائنا لكن من الممكن أن تتمخض مناقشة هذه النظرية عن توضيح بعض معتقداتنا عن درجة حرارة الارض ، وماضى تاريخها ، وتركيبها . وعلى أى حال فمن الواجب أن نضع فى اعتبارنا أنه من الممكن ألا تكون حرارة قشرة الارض آخذة فى التناقص ، بل أن تكون على عكس ذلك آخذة فى الارتفاع .

تتمثل الصعوبة الاساسية فى تقدير درجة حرارة باطن الارض فى كوننا غير قادرين على أن تنفذ الى أعماق باطنها كى نقيس هذه الحرارة . ولو تيسر لنا ذلك فقد نجد من المعلومات ما يمكننا من البت فى النظريات المتعلقة بأصل الأرض ، أيها صحيحة وأيها جانبها الصواب . وبالطبع يمكننا دراسة درجة حرارة الحمم البركانية المنصهرة ، ولكننا لا نعلم كم انخفضت درجة حرارتها وهى فى طريقها الى فوهة البركان ، كما أننا لانعلم من أى عمق أتت . وكان الاعتقاد السائد أن هذه الحمم تنبع من مواضع قريبة من السطح ، غير أنه افترض حديثا أنها تأتى من أعماق كبيرة فى باطن الأرض .

نحن نعلم أن معدل ارتفاع درجة الحرارة تبعا للعمق ، والذى نسميه « التدرج الحرارى » يختلف من مكان لآخر ، على سطح الكرة الارضية . وليس هذا صحيحا بالنسبة للمناطق البركانية و مناطق الينابيع الحارة حيث لا تتوقع اختلافا كبيرا عن «المألوف» فحسب ، بل انه صحيح أيضا بالنسبة للمناطق الهادئة البعيدة عن النشاط البركانى . ويتفاوت التدرج الحرارى فى المناطق الهادئة كذلك ما بين أقل من ١٠° الى ٥٠ درجة مئوية لكل عمق مقداره كيلو متر . وفضلا عن ذلك فان التدرج الحرارى فى المنطقة الواحدة ليس منتظما على الدوام ، ولكنه قد يتغير تغيرا مفاجئا عند عمق معين ، فمثلا فى بعض الآبار الواقعة فى تشيشاير بانجلترا نجد أن التدرج الحرارى يتغير طفرة الى الضعف عند عمق معين .

ما سبب هذه التغيرات فى التدرج الحرارى من مكان الى آخر ؟ من بين التفسيرات أن كميات الحرارة التى تسرى من الاعماق تختلف من مكان الى آخر ، وهذا التفسير صحيح جزئيا على وجه التأكيد فنحن نعلم الآن ، على كل حال ، ان التغير فى التدرج الحرارى عند المناطق الهادئة يرجع أساسا الى اختلاف معامل التوصيل الحرارى لطبقات الصخور عند كل مكان . وهذا يفسر أيضا التغير فى التدرج الحرارى من عمق الى آخر فى حالة ما اذا كان التوصيل الحرارى لاحدى الطبقات الصخرية أجود منه للطبقة الاخرى ، وتتوقف كمية الحرارة التى يوصلها الجسم الصلب على حاصل ضرب التدرج الحرارى خلال الجسم × معامل توصيله الحرارى .

وفى خلال الاثنى عشر عاما الاخيرة أجريت التجارب على عينات من صخور الآبار والمناجم والأنفاق الكائنة فى مناطق هادئة بجنوب

افريقيا وانجلترا وايران والولايات المتحدة ، وقد دلت المشاهدات على أن التدرج الحرارى يميل الى الانخفاض كلما كان معامل التوصيل الحرارى للصخور كبيرا ، والعكس صحيح ، بحيث أن حاصل ضرب هذين المقدارين يساوى مقدارا ثابتا . وفيما عدا مساحات معينة ، مثل الحدائق الوطنية فى بللوستون حيث تؤدى بعض الاضطرابات المحلية الى ارتفاع درجة الحرارة قرب السطح ، فانه يبدو أن كمية الحرارة المنبعثة من باطن الارض قد تكون متساوية فى كل من سطوح القارات . ومع كل ، فالمساحة التى اختبرت من سطح الارض ضئيلة جدا ، وقد يسفر المستقبل عن العثور على انحرافات اقليمية هامة .

أما عن كمية الحرارة التى تسرى من باطن الارض الى قاع المحيطات فلا نعلم عنها كثيرا ، غير أن هانز بيترسون (Hans Pettersson) السويدى و أ . س بولارد (E. C. Bullard) الانجليزى قد شرعا فى عمل بعض القياسات اللازمة ، ولن يمضى وقت طويل قبل أن نحصل على بعض المعلومات فى هذا الصدد ولما كان الماء يغطى ثلاثة أرباع سطح الارض تقريبا ، فمن الواضح أننا فى حاجة الى الكثير من المعلومات قبل أن نبدأ فى تقدير كمية الحرارة الاجمالية المنبعثة من باطن الارض .

والذى نعلمه على وجه اليقين أن كمية الحرارة المنبعثة من الارض عن وحدة المساحات من سطحها ضئيلة جدا . وفيما عدا أماكن الظواهر الخاصة كالبراكين والينابيع الحارة ، تنتقل الحرارة بمعدل حوالى جزء من مليون من السعر فى الثانية لكل سم^2 من سطح الارض ، وذلك على سطوح القارات حيث تم قياس هذه الكمية من الحرارة . وتقل هذه الكمية ببضع آلاف المرات عن

متوسط كمية الحرارة التى تصـــل من الشمس الى كل سم^2 من سطح الأرض . وواضـــح أن طقســـنا وحرارة جونا تتوقفان على الشمس دون الحرارة الباطنية للأرض .

يحتمل أن معظم الحرارة التى نستبين تسربها الى الســطح لا تنتقل اليه اطلاقا من نواة الارض الســاخنة ، ولكنها تتولد فى القشرة الارضية . وقد نشأت هــذه الفكرة عقب اكتشاف المواد ذات النشــاط الاشعاعى ، وجاءت مؤيدة للرأى القــائل بأنه من الممكن أن تكون درجة حرارة الأرض فى تزايد مستمر وليست فى تناقص ، وذلك فضلا عن أن هذه الفكرة قد حملتنا على مراجعــة آرائنـــا عن عمر الارض (وهو الذى قدره اللورد كلفن الراحل بعشرين مليون عام على أساس ما افترض من معدل تناقص درجة حرارة الأرض منذ بدأت وهى فى حالة انصهار) .

ونحن نعلم الان أن كميات صغيرة من الحرارة تتولد باستمرار فى كل الصخور العــادية وذلك نتيجــة تحلل عنــاصر الراديوم واليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم وغيرها من الذرات المشعة التى قد توجد بتلك الصخور . ويظهر النشاط الاشعاعى قويا فى الصخور الجرانيتيــة على وجه الخصوص ، وهى الصخور التى تكون جزءا كبيرا من مادة القــارات . والمعتقد أن ســمك الطبقة الجرانيتية فى القارات يبلغ فى المتوسط حوالى ستة أميال (أنظر الجزء الخاص بقشرة الارض .) . ونصف كميــة الحرارة التى تنساب من باطن الارض الى سطحها قد يرجع الى الحرارة المتولدة عن النشــاط الطبيعى الذى يحــدث فى مثل هــذه الطبقة من الجرانيت .

وفى المناطق الجبلية حيث يحتمل أن تكون الطبقة الجرانيتية أكثر انضغاطا وأكبر سمكا ، يجب أن تكون كميــة الحرارة أكبر منها فى السهول المنخفضة. وفى العام الماضى أيد هذا الفرض أستاذ الفيزياء الأرضية فرانسيس برش (Francis Birch) بجامعة هارفارد ، بعد أن تبين له من تجاربه أن كميات الحرارة الداخلية التى تنساب فى منطقة جبــال كلورادو تزيد بحوالى ٦٠ ٪ عن التقدير المعتاد .

والى هذه الحرارة المتــولدة فى الجرانيت يجب أن نضيف الحرارة المتــولدة فى الصخور البازالتية المحتمــل وجودها تحت القارات والمحيطات . وسرعة تولد الحرارة بالنشاط الاشعاعى فى حجم معــين من الصخور البازالتية يقــدر بنصف أو ثلث سرعة تولدها فى نفس الحجم من الصخور الجرانيتية ، غير أنه من المعتقد أن الطبقة البازالتية تبلغ فى السمك ضعف الطبقة الجرانيتية التى تعلوها تحت سطح القارات . ونحن ، مع كل ، لسنا متأكدين تماما من صحة افتراض وجود هاتين الطبقتين من الجرانيت والبازلت أو من كمية نشاطهما الاشعاعى . كما أننا لا نستطيع الجزم بحالة النشاط الاشعاعى فى باطن الارض ، رغم أن لدينا فى النيازك دليلا يحملنا على الاعتقاد بأن لهذا الباطن نشاطا اشعاعيا ، اذ يعتقــد البعض بأن هذه النيازك أجزاءمن كوكب متحطم . (وبهذه المناسبة يعتبر افتقارنا الى معرفة كمية النشاط الاشــعاعى بباطن الارض سببا آخر هاما لتعذر تقديرنا لدرجةحرارته) . ويبدو على كل حال أن معدل توليد الحرارة بالنشاط الاشعاعى فى الارض أكبر من معدل ما يتسرب من حرارة الارض الى الفضاء فاذا كان هــذا

صحيحا فمعناه أن درجة حرارة الارض فى تزايد تدريجى ، ولكنه تزايد بطيء لا يحملنا على القلق من هذه الناحية .

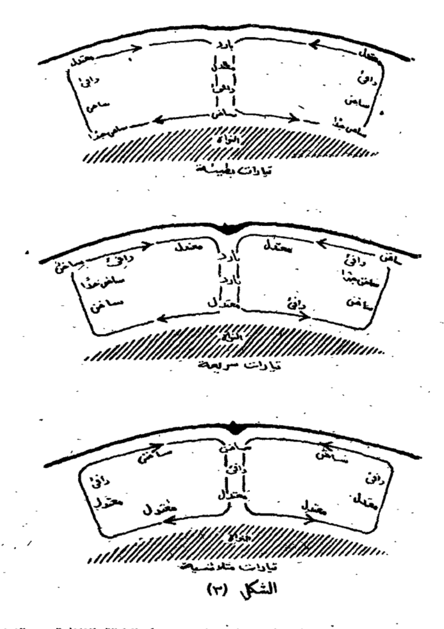
وهناك افتراض بأن حرارة البراكين ترجع الى النشاط الاشعاعى غير أن هذا أمر بعيد الاحتمال لضآلة ما نشاهده من النشاط الاشعاعى لمواد الحمم البركانية . ومع كل ، فقد افترض بولارد حديثا وجود مواد ذات نشاط اشعاعى فى نواة الأرض السائلة اليها تعزى ظاهرة « الحمل » التى تتجلى فى النواة ، تلك الظاهرة التى اتخذها رانكورن كما أوضح فى مقاله عن مغنطيسية الارض فى هذا الكتاب أساسا لتفسير العملية الميكانيكية التى ينشأ عنها المجال المغنطيسى لكوكب الارض .

وقد يوجد بالطبقة الغلافية من جسم الارض نوع آخر من تيارات الحمل شديد البطء تتوالى فى فترات متقطعة . والمقصود بالطبقة الغلافية كما هو مبين بالشكل (٢) هو القطاع الواقع بين القشرة والنواة ، والذى يبلغ سمكه ٢٠٠٠ ميل . والطبقة الغلافية مثل الاجسام الصلبة من حيث انتقال أمواج الزلازل ، غير أنها من المحتمل أن تكون أكثر شبها بسائل كثيف لزج منها بجسم بلورى صلب . وقد اقترح د . ت جريجز (D. T. Griggs) بجامعة كاليفورنيا وآخرون أن تكوين السلاسل الجبلية يعود الى تيارات الحمل الحرارى التى تسرى بالطبقة الغلافية من جسم الارض ، وكذلك قد يعود اليها وجود بعض شواذ معينة فى ظواهر الجاذبية مرتبطة ببعض أعماق المحيط .

وفحوى النظرية هو أن جزء الطبقة الغلافية القريب من نواة الأرض قد يتمدد بالتسخين ، فتقل كثافته ويرتفع الى أعلى ، فتندفع

المواد الباردة المجاورة لتحل محله ، وبهذا تبدأ فى الطبقة الغلافية « خلية حمل » (أنظر شكل ٣) » وقد تسحب تيارات الحمل عند قاع القشرة جزءا منهـا الى أسفل يتخلف عنها تجويف ، يمتلىء بالطبقات الرسوبية الخفيفة . وهذا قد يفسر النقص العجيب الذى يلازم الجاذبية فوق بعض أجزاء المحيطات . (انظر الجزء الخاص عن « أخاديد المحيط الهادى ») . وفى النهاية ، فان تيـار الحمل قد يرفع الى أعلى كميات كافية من المواد الساخنة ، فتستقر الخلية وتنقطع التيار نفسه ، وبهذا تختفى القوة التى تجذب هذا الجزء من القشرة الى أسفل ، فيندفع مرتدا الى أعلى ، كما يحدث لقطعة الثلج عند غمرها فى الماء ثم اطلاق سراحها لتطفو على السطح . وتبعا لهذه النظرية ، فان المادة التى ترتفع طافية قد تكون سلسلة من الجبال .

وهناك وسيلة لاختيار نظرية وجود تيارات الحمل فى الطبقة الغلافية من الارض . فاذا كانت هذه التيارات موجودة حقا ، وأنها تدفع بالمواد الساخنة نسبيا الى أعلى الطبقة الغلافية ، فان انتقال الحرارة الى سطح الارض عند هذا الجزء يكون أكثر من المعتاد . ومن الناحية الجيولوجية ، يكون المكان المناسب لهذا الاختبـار هو بالقرب من سلسلة جبال حديثة ، حيث تكون تيارات الحمل قد توقفت حديثا عن السريان . وقد أجرى اختبار من هذا النوع فى كاليفورنيا ، واتضح فعلا أن معدل انتقال الحرارة الى السطح يزيد بمقدار ٢٠ ٪ عن المعدل العـادى . غير أن الامر لا يزال مفتقرا الى قياسات أخرى كثيرة ، وحتى اذا أجريت هذه القياسات ، فان وجود معدل مرتفع لانتقال الحرارة لن يكون برهانا قاطعـا للنظرية ، اذ أن من السهل تعليل هذه الظاهرة على أسس أخرى ،



الشكل (٣)

من المقترح أن تيارات الحمل المحتمل وجودها بالطبقة الغلافية من الارض هى السبب فى عملية تكوين الجبال والشكل يبين المراحل الثلاثة للعملية ويمكن الكشف عن وجود هذه التيارات بقياس الحرارة المنبعثة من الارض بالقرب من سلاسل الجبال الحديثة .

ومن أبرز الحقائق عن حرارة الارض أنهــا تنتقــل فى التربة والصحور ببطء شديد جدا ، ويبدو ان درجات الحرارة تظل ثابتة زمنا طويلا . فالتغيرات اليومية التى تطرأ على درجة حرارة الجو

يصعب أن نجد لهـا أثرا على عمق قدم أو قدمين تحت السطح . ويندر أن يؤثر حر اليوم أو برودته على طبقة الارض عنـد هذا العمق بأكثر من درجة واحدة مئوية . ويصل هذا التأثير الى ذلك العمق بعد يوم أو نصف يوم على حسب درجة توصيل التربة . أما الطبقات عند عمق بضعة أقدام من السطح فلا يؤثر عليها سوى التغيرات الموسمية الطويلة المدى ، ويستغرق وصول أثر هـذه التغيرات الى ذلك العمق بضعة أشهر حتى أننا لنجد الصخور عند هذا العمق أبرد ما يمكن فى منتصف فصل الصيف ، ونجدها أدفأ ما يمكن فى منتصف فصل الشتاء . ويصل أثر التغيرات الموسمية الى عمق ٥٠ قدما بعـد فترة تناهز عاما كاملا ، ويكون التغير فى درجات الحرارة عند هذا العمق ضـئيلا . والذين يعرفون خواص الكهرباء عند الترددات العالية يألفون هذا التأثير على أنه « تأثير سطحى » حرارى ، ذو أبعاد غريبة تكاد تكون خيالية .

أما عن ثبوت درجة الحرارة لمدة طويلة فان برد العصر الجليدى الاخير ، والذى انقضى عليه ٢٠٫٠٠٠ عام تقريبـا ، لا يزال أثره محسوسا بوضوح عند عمق بضعة آلاف قليلة من الاقدام . وقد أوضح « فرنسيس برش » مؤخرا أنه يجدر بنا عند قياس انتقال الحرارة فى الآبار العميقـة أن نأخذ فى اعتبارنا الفترة الطـويلة للطقس البارد التى يعتقد أنها استغرقت حوالى ١٠٠٫٠٠٠ عام عند بداية « العصر الحديث (Pleistocene Period) منـذ مليون عام مضت .

وفى الحقيقة ، نجد أن توصـيل الارض للحرارة من البطء بحيث ان الثلاثة بلايين عاما من عمر الارض لم تكن كافيـة لكى تنقل بطريق التوصيل الى السطح كميات كبيرة من حرارة النشاط

الاشعاعى الممكن تولدها تحت أعماق تربو كثيرا عن ٢٠٠ ميل . وقد أشار ل . ب سلشتر (L. B. Slichter) بجامعة كاليفورنيا أن حرارة النشاط الاشعاعى المتولدة عند هذه الاعماق لا تزال متراكمة وأنها لم تجد بعد الوقت الكافى لكى تصل الينا ، ولهذا لا يمكننا أن نحس بها عند السطح ، وطبيعى أننا بعــد قليل من بلايين الاعوام ستكون لدينا فكرة أوضح عن هذا الوضع .

وفى هذه الاثناء ، يستطيع هؤلاء الذين لم يوهبوا صبرا خارقا للعادة أن يجدوا فى قياسات انتقال الحرارة فى الارض عونا على تشخيص حالتها . ورغم أن هذه القياسات لا تحكى لنا القصــة كاملة ولا تشبع كل فضولنا الا أنها تتصــل بالكثير من مشــاكل الفيزياء الارضية الهامة والمتعلقة بتاريخ الأرض ، ماضيها وحاضرها ومستقبلها .

مغنطيسية الأرض

بقلم

ك . دانكوله

كان المجال المغناطيسى للارض موضوع البحث الذى نشره أستاذ الطبيعة الانجليزى وليم جلبرت (William Gilbert) فى عام ١٦٠٠ بعنوان (De Magnete) (المغنطيس) وهو من أول ما نشر من موضوعات العلم التجريبى . ويطلق على جلبرت أحيانا لقب « أب الكهرباء » . كان معروفا آنئذ أن الابرة الممغنطة لاتميل الى الاتجاه شمالا فحسب ، ولكنها اذا سمح لها بالحركة فى مستو رأسى فانها تستقر مائلة الى تحت عندما تكون بالنصف الشمالى من الكرة الارضية . وتشير الى ما فوق الافق عند ما تكون بالنصف الجنوبى . وللبحث عن تفسير لهذه الظاهرة صنع جلبرت كرة من الحجر المغنطيسى وتتبع خطوط مجالها المغنطيسى بابرة ميل ، فكانت الابرة فى أوضاع ميلها واشاراتها فوق هذا النموذج تتبع تقريبا نفس الاسلوب الذى تتبعه عند ما تنتقل على سطح الارض . ومن ثم استنتج جلبرت أن الارض تفعل فعل منغطيس كبير .

كيف اكتسبت الارض مغنطيسيتها ؟ كان هذا اللغز يشتد

غموضا قرنا بعد قرن . وبطبيعة الحال استنتج جلبرت أن باطن الارض يتكون من مادة مغنطيسية . لكن العلماء تحققوا من أن حرارة نواة الارض مرتفعة جدا ، بحيث لا تسمح بأن تكون الارض مغنطيسا مستديما — وقد طغت على هذه المشكلة مشاكل أخرى أشد غموضا . ففى المقام الاول ، قد اتضح أن المحور المغنطيسى بعيد عن القطب الشمالى الجغرافى بمئات الاميال وفى المقام الثانى ، دلت المشاهدات المتتالية فى أماكن متفرقة على سطح الارض على أن البوصلة تنحرف عن الشمال الحقيقى بطريقة لا رابط لها ، وفضلا عن ذلك ، فقد وجد أنه ، على مر القرون ، تطرأ تغيرات معينة على خطوط تساوى المجال المغنطيسى ، والتفسير الوحيد الذى يمكن استنباطه هو أن باطن الارض ، حيث تتولد هذه المغنطيسية ، لم يكن بالصلابة التى كنا نظنها . ولا بد أن يكون باطنها فى حالة حركة دائبة . وكما قال أستاذ الفيزياء الارضية الشهير كريستوفر هانزتين (Christopher Hansteen) فى أوائل القرن التاسع عشر « تعبر الارض عن حركاتها الداخلية بلسان الابرة المغنطيسية الصامت » .

هيا نستمع الى ما يمكن أن ترويه الابرة لنا : ان شدة المجال المغنطيسى الارضى صغيرة جدا ، وهى تقاس بالقوة اللازمة لكى تنحرف ابرة البوصلة عن وضعها المختار . وقرب القطبين ، حيث تكون شدة المجال أكبر ما يمكن ، نجد أنها أضعف مئات المرات من شدة المجال بين قطبى مغنطيس صغير على شكل حدوة الفرس كالذى يستخدمه الاطفال . وتميل الابرة عموما لان تتخذ مواضعها حول الارض فى خطوط منحنية تمتد من الشمال الى الجنوب ، وتتجه نحو الارض اذا كانت بالقرب من القطب الشمالى المغنطيسى .

وتشير الى أعلى وهى بالقرب من القطب الجنوبى . لكن هنـــاك أماكن قليلة جدا على سطح الارض حيث تتجه الابرة تماما نحو الشمال الحقيقى . ويتغير اتجاه الابرة من مكان الى مكان بحيث يبدو المجال غاصـــا بدوامات غير منتظمة . وتتغـــير شدة المجال واتجاهه على مر الزمن . وقد جرى تسجيل هذه التغيرات المزمنة فى مراصد مغنطيسية منذ أكثر من ٤٠٠ عام .

وهناك أسباب عديدة تحملنا الان على الاعتقـــاد بأن مجـــال الارض يتألف من مركبتين . فهنـــاك أولا توجد خطـــوط قوى مغنطيسية ثابتة متحدة فى اتجاهها دائما مع محور دوران الارض . وثانيا ، يعتدل هذا المجال الرئيسى بفعل خطوط قوى أخرى تنشأ بطريقة مغايرة داخل الارض ، كما يتغير هذا المجال فى غير انتظام من مكان الى مكان على سطح الارض وعلى مر الزمن . ويسمى هذا المجال غير المنتظم « بالمجال المتخلف » ، ويمكن معرفة قيمته بطرح قيمة المجال الرئيسى المحورى من قيمة المجال الحقيقى الذى تشير اليه البوصلة . واذا رصدنا هذه الفروق على سطح الأرض ـ أى قيمة الاختلاف عن المجال الرئيسى مقدارا واتجاها عنـــد الاماكن المختلفة ـ فاننا نحصل على صورة تمثل المجال المتخلف .

وعلى هذا فان البوصـــلة توحى الينـــا بأن الارض ممغنطة بطريقتين مختلفتين ، فلها مغنطيسية أولية مرتبطة ارتباطا مباشرا بدوران الارض . ولها أيضا مغنطيسيات ثانوية متنقلة لها أثرها بالاضافة الى القوى الاولية .

والارصاد التى أجريت على مر الاعوام تدلنـــا على شىء من طبيعة تغيرات هذا المجال الثانوى أو المتخلف . فالمجال المتخلف

يتحرك ببطء حول الارض ، متجها في حركته نحو الغرب . وخطوط قوى هذا المجال نفسه (وهى التى تبين اتجاه المجال وشدته عند الأماكن المختلفة) تتغير سريعا فى خلال فترات تقرب مدة الواحدة منها ١٠ أعوام ، أو عاما ، أو حتى شهر .

والمجال المتخلف أشبه ما يكون بسحب تتجمع وهى متحركة : شكلها فى تغير مستمر ، وتتحرك بأجمعها ، وبهذا وضح أن المجال المتخلف يتحرك دائما فى اتجاه غربى كما تبينه الارصاد التى أجريت خلال القرون الماضية . والمجال المتخلف حرى بأن يتم دورة كاملة حول الارض فى ١٦٠٠ عام اذا استمر متحركا بنفس المعدل الذى نشهده . ويعتبر هذا تطورا مذهلا فى سرعته اذا ربطنا بينه وبين الارض « الصلبة » .

واذا تعمقنا فى تاريخ المغنطيسية الارضية ، تكشف لنا قصة أكثر غرابة . ففى الاعوام القليلة المنصرمة أمكن لنا أن نقرأ سجلا مغنطيسيا لملايين الاعوام ، وكانت وسيلتنا الى ذلك بوصلة طبيعية زودتنا بها الطبيعة وجمدتها بين الصخور . وهذه الابر المغنطيسية عبارة عن حبيبات دقيقة من مواد أكسيد الحديد المغنطيسى مثل $ح_٢ أ^٣$ (الهيماتايت) ، $ح_٣ أ_٤$ (الماجنيتايت) . وعند درجات الحرارة المرتفعة تنتظم ذرات هذه المواد فورا فى خطوط تأخذ اتجاه أى مجال مغنطيسى ضعيف . وعلى هذا فبمجرد ما يلفظ بركان ذ حممه المنصهرة فوقها فانها تتمغنط حبيباتها الحديدية المعدنية فى اتجاه المجال الغنطيسى المحلى فى ذلك الوقت وبعد أن تتأثر كثيرا فى اتجال المجال المغنطيسى المحلى فى ذلك الوقت وبعد أن تبرد وتتجمد لا يمكن لمغنطيسيتها التى اكتسبتها أن تتأثر كثيرا بأى تغير يطرأ على المجال الأرضى . ومن ثم ، فان تلك الحبيبات تمثل

حفريات مغنطيسية تسجل لنا اتجاه المجال المغنطيسي وقت أن تكونت تلك الصخور . وفى بعض بقع من العالم ، تتراص الحمم البركانية فوق طبقة ، مكونة مجموعة من مئات الطبقات تزودنا بتقويم وثيق للتاريخ المغنطيسى . وأيسلاند وشمال غربى الولايات المتحدة غنيتان بمثل هذه الرواسب التى نجد بعضها ظاهرا على جدران المغارات .

وقد تضم الصخور الرسوبية أيضا سجلا مغنطيسيا حافلا . فبعد أن تتفتت الجسيمات المغنطيسية من الصخور البركانية القديمة وتهبط مترسبة ، فانها تميل الى أن تنظم فى خطوط فى اتجاه المجال المغنطيسى الارضى . وعند ما يتجمد القاع متحجرا ، فان الجسيمات المغنطيسية تثبت فى اتجاه المجال عند ذلك الوقت .

وبفحص هذه المغنطيسات المغمورة وسط الصخور عند أماكن مختلفة على وجه الارض نجد أدلة على أن تغيرات مذهلة قد طرأت على المجال الرئيسى المحورى للارض . فالقطب الشمالى المغنطيسى والقطب الجنوبى المغنطيسى قد تبادلا وضعيهما عدة مرات خلال العصر الثلثى (Tertiary period) (بين ٦٠ مليون عام ، مليون عام مضت) ! أما طبقات الحمم البركانية فتزودنا بالدليل على أن المجال بعد أن يظل ثابتا مئات الآلاف من السنين ، فانه تتلاشى ثم يتكون ثانية واتجاه قطبيه عكس ما كانا عليه .

لا بد أن نشير الى أن هذا التفسير للسجلات الجولوجية غير مقبول لدى بعض المتخصصين فى علم الفيزياء الارضية ، اذ يميل البعض الى الاعتقاد بأن حبيبات أكسيد الحديد تعكس اتجاه مغنطتها بطريقة ما مستقلة عن المجال الارضى . غير أنه كلما زادت

دراساتنا للصخور المتعددة فى الاماكن المختلفة ازددنا يقينـا بأن مجال الارض قد انعكس فعلا مرات عديدة .

وعلى هذا فاننا عنـد ما نحاول أن نفسر كيف تولد المجـال المغنطيسى الارضى يجب أن نضع فى اعتبارنا نوعين من التغيرات : تلك التغيرات التى تصحب المجال الرئيسى ، وكذلك التغـيرات الزمنية الطويلة الامد فى المجال المتخلف .

منذ أكثر من قرن مضى أثبت العالم الالمانى الرياضى الطبيعى كارل فريدريك جاوس(Karl Friedrick Gauss) بما لا يدع مجالا للشك أن المجال المغنطيسى يجب أن ينشأ داخل الارض . واليوم لم يعد بمقدورنا أن نشك كثيرا فى أن المجال يتولد فعـلا بتأثير تيارات كهربائية ناشئة عن تحرك المواد فى باطن الأرض وكان العالم الطبيعى والتر م . السازار (Walter M. Elsasser) أول من بين كيف يمكن للتحركات فى النواة السائلة أن تولد المجال المتغير ، وكان ذلك فى عام ١٩٣٩ .

وكخطوة أولى ، لنتصور أن المجال الرئيسى للارض ينشـأ عن تيارات كهربائية تسرى فى النواة (المكونة من حديد ونيكل) بالنظام الموضح بالشكل (٤ ـ أ) . ويمكن أن تنشـأ دوامات محلية بتأثير تحركات الحمل داخل النواة السائلة ، ثم ان التيارات الكهربائية الثانوية المتولدة فى هذه المناطق تولد بدورها عددا من المجالات المغنطيسية غير المنتظمة ، ومن هذه يتألف المجال المتخلف للمغنطيسية الارضـية . ونظرا لان كثافة النواة السائلة مرتفعـة جدا وقوامها أثقل كثيرا من السوائل العـادية ، فان التغيرات فى المجالا تغير المستقرة تكون أميل الى البطء . ومثل هذا النموذج

من شأنه أن يفسر التغيرات الجغرافية والتغيرات البطيئة فى شكل المجال المتخلف للارض ونمطه .

أما عن تحرك المجال نحو الغرب ، فلو صحت الصورة التى رسمناها لميكانيكية المجال المغنطيسى ، فلا بد أن نفترض أن نواة الارض تدور داخل طبقة الغلاف . وهناك من الادلة الفلكية الوجيهة ما يؤيد صواب هذا الفرض . فسرعة دوران الارض حول نفسها ليست سرعة ثابتة ، اذ تشير القياسات الدقيقة الى أن فترة دوران الأرض حول نفسها فى تغير طفيف مستمر . غير أن قانون كمية الحركة الزاوية ينص على أنه اذا تغيرت سرعة الحركة الدورانية لسطح الارض فلا بد أن يتوازن هذا التغير بتغير سرعة جزء آخر فى جوف الأرض . وعلى هذا فانه اذا زادت سرعة الطبقة الغلافية من الارض فان سرعة النواة لا بد أن تقل ، والعكس بالعكس .

وأبسط طريقة لتفسير هذه التغيرات فى السرعة هو أن نفترض أن كلا من نواة الارض والطبقة الغلافية يؤثر على الآخر بطريقة تولدها التيارات الكهربائية (وهذا الاثر مطابق للتأثير الواقع فى المحرك الكهربائى بين ذراعه المتحرك وملفاته) . وأى تغير يطرأ على التيارات فى نواة الارض يغير من مقدار القوة الواقعة بين النواة والغلاف ، وبالتالى يغير من سرعة دوران كل منهما بالنسبة للآخر . واذا حدث تغير فجائى فانه ينشأ عنه زيادة كبيرة فجائية أو نقص كبير فجائى فى سرعة دوران سطح الأرض . والواقع أن سرعة دوران سطح الارض قد زادت فى عام ١٨٩٧ زيادة فجائية بما يقرب من ٣/١٠٠٠ من الثانية فى اليوم ، كما أنها فى عام ١٩١٤ قد نقصت بنفس القيمة تقريبا .

وهناك بعض النواحي الهامة في مغنطيسية الارض لا يفسرها النموذج البسيط الذي ناقشناه : أولا ، لماذا يتحتم على التيارات أن تسري في اتجاه معين حول محور النواة دون الاتجاه المضاد ، مما ترتب عليه أن يتخذ المجال المغنطيسي الاتجاه الشمالي — الجنوبي ؟ ثانيا ، هناك مشكلة أخرى تدور حول انعكاس موضعي قطبي الارض . واذا كان هذا النموذج صحيحا لتحتم علينا أن نفترض أن التيارات تضمحل وتختفي من وقت لآخر خلال التاريخ الجيولوجي ، ثم تعود لتسري مرة أخرى في الاتجاه المضاد .

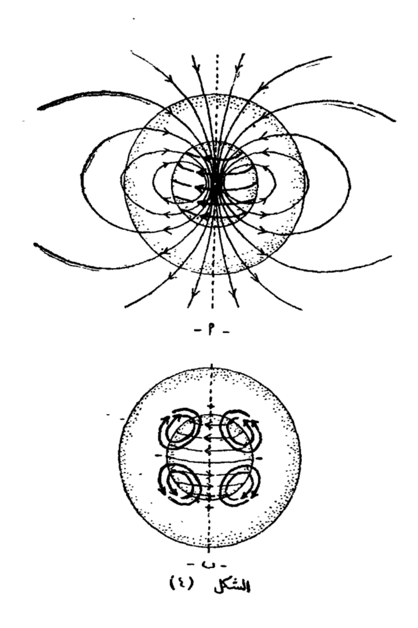
كان من الضروري أن يعدل هذا النموذج ، ويعد « الزاسار » (Elsasser) أول من تقدم بآراء أساسية يقوم عليها نموذج أفضل . فقد وجد أن المقلوب التقريبي لهذا النموذج يعتبر ممكنا من الناحية النظرية . ففي النموذج الاول يسري التيار من الشرق الى الغرب حول نواة الارض مولدا مجالا يتجه من الشمال الى الجنوب . وهناك احتمال آخر وهو أن يسري التيار من الشمال الى الجنوب مولدا مجالا يطوق النواة من الشرق الى الغرب (شكل ٤ — ب) . ويسمى هذا المجال المغنطيسي « مجال النمط الكهربائي » ، ولمرابطته على سطح النواة لا يمكن أن يظهر له أثر ملموس على سطح الارض . أما المجال الذي تقوم برصده فهو أثر ثانوي : لانه عندما يتحرك السائل في النواة عبر مجال النمط الكهربائي تتولد تيارات ينشأ عنها المجال المغنطيسي الشمالي — الجنوبي للارض .

مثل هذا النموذج يذلل الصعوبات الكبرى التي نواجهنا في النموذج البسيط الذي اقترح أولا . فتبادل القطبين لموضعيهما

يمكن تفسيره بأن نفترض وجود تغيرات معينة فى نظام تحرك السائل داخل النواة بطريق الحمل . وفضلا عن هذا فان تعليل التغيرات الجوهرية فى سرعة دوران الأرض يصبح أكثر يسرا . فالمغنطيسية السطحية للأرض ليست من الشدة بحيث تكون مسئولة عن القوة اللازمة التى تتواجد بين النواة والطبقة الغلافية ، لكن مجال النمط الكهربائى حول النواة (الذى لا أثر له على سطح الأرض) يمكن أن يبلغ من الشدة القدر الكافى بحيث يفسر لنا مصدر هذه القوى .

لا تزال أمامنا مشكلة تفسير كيف نشأت التيارات الأولية المسئولة عن مجال النمط الكهربائى . وتوجد فى هذا الصددعدة تخمينات ممكنة : قد ينشأ التيار من التفاعلات الكيميائية ، أومن الفروق فى درجة الحرارة ، التى تحدث فرقا فى الجهد بين قطبى النواة وخط استوائها (ويكفى فولت واحد لهذا الغرض) ، وقد ينشأ التيار من نوع ميكانيكية المولد الكهربائى الذى يعمل من تلقاء نفسه ، ويشمل النواة والطبقة الغلافية .

وأيا كانت تلك الميكانيكية ، فمما لاشك فيه أن المجال الأرضى مرتبط بطريقة ما بدوران الكوكب . وهذا يهدينا الى كشف هام عن دوران الأرض نفسه . ففضلا عن تبادل القطبين المغنطيسيين لموضعيهما ، فان هذين القطبين يواصلان حركتهما فى بطء شديد لاتمام عمليات التبادل خلال التاريخ المغنطيسى الحافل المسجل على صفحات الطبقات الصخريةللأرض . وليس فى وسعنا الا أن نفترض أن المحور الجغرافى للأرض قد غير موضعه أيضا . وبعبارة أخرى أن كوكبنا قد انحرف فى دورانه حول نفسه مغيرا



الشكل (٤)

يفسر مصــدر المجال المغنطيسى بنظامين مختلفين موضحين بالشكل . فالشكل (أ) يفسره على أنه مجال « محورى ثنائى القطب » (الخطـوط الخفيفة) يولده تيار يمر من الشرق الى الغرب (الخطوط الثقيلة) فى نواة الارض الملتهبة . ويبين الشكل (ب) سريان التيار الكهربائى (الخطــوط الثقيلة) من الشمال الى الجنوب مولدا مجال « النمط الكهربائى » المرابط على السطح للنواة والمتجه شرقا وغربا (الخطوط الخفيفة) . والمجال الذى نشهده عند سطح الارض فى هذه الحال هو أثر ثانوى ناشىء عن تحرك المواد بطريق الحمل فى النواة الملتهبة . وكلا التفسيرين لا يكفى تماما لتعليــــل مصدر التيارات الكهربائية ولا لتعليل الخصائص المشاهدة للمجال المغنطيسى.

موضعى قطبيه الجغرافيين . وقد يعــود هذا الى عمليــة تكوين الجبال أو الى تيازات الحمل بالطبقة الغلافية من جسم الأرض . واذا تحققت نظرية حركة القطبين الجغرافيين فمن الطبيعى أن تثير اهتمام علماء الجغرافيا الى حد كبير . فلعلها تفسر ، مثلا ، مانعلمه من وجود أثر مناطق جليدية فى ماضىالتاريخ الجيولوجى السحيق عند خط الاستواء الحالى .

●

القسم الثالث

الكـــرة الصخـــرية
القشــــــــــرة

●

الجزء الاول : شكل الأرض

بقلم وايكو أ . هايسكانن

يشغل المؤلف منصب مدير معهد المساحة ومقاييس الارض ويشمل قسمى الخرائط والتصوير الفوتوغرافى من الجو التابع لجامعة ولاية أوهايو منذ عام ١٩٥١ . وقد حصل هايسكانن على درجة البكالوريوس ودرجة الماجستير فى العلوم من جامعةالدولة بهلنسكى بموطنه فنلنده ، حيث ولد ببلدة « كانجاسلامبى » وكان الابن التاسع لاب فلاح . وفى عامى ١٩٢٠ ، ١٩٢١ ذهب الى ألمانيا حيث درس على دافيد هلبرت (David Hilbert) وماكس بلانك (Max Planck) والبـــرت اينشــاين (Albert Einstein) ، فى عام ١٩٢٦ أصبح هايسكانن استاذا مساعدا لعلم المساحة ومقاييس الارض بالمعهد الفنلندى للعــلوم التطبيقيـــة ، ثم رقى الى اســـتاذ فى عام ١٩٣١ . وكان هايسكانن عضوا فى البرلمان الفنلندى فى الفترة ما بين عام ١٩٣٣ وعام ١٩٣٦ .

الجزء الثانى : قشرة الأرض

بقلم والتر هـ . بوتشر

ولد بوتشر بمدينة آكرون فى أوهايو عام ١٨٨٨ ، وحصــل على درجة الدكتوراه من هيدلبرج عام ١٩١١ وقد باشر دراساته

عن تركيب قشرة الارض وديناميكيتها بجامعة « سينسيناتى » طوال السبعة والعشرين عاما التى تلت ذلك . وفى عام ١٩٤٠ عين استاذا للجيولوجيا بجامعة كولومبيا ثم رئيسا للقسم فى عام ١٩٥٠ .

الجزء الثالث : أخاديد المحيط الهادى

بقلم روبرت ل . فيشر ، روجر ريفيل

المؤلفان عضوان بمعهد «سكريبس» لعلوم البحاربكاليفورنيا . ويعمل ريفيل بمعهد « سكريبس » منذ عام ١٩٣١ وهو الآن مديرا لهذا المعهد . وكان ريفيل يشتغل بعلوم البحار فى السلاح البحرى أثناء الحرب العالمية الثانية ، وكان رئيسا لقسم علوم البحار للعمليات الحربية التى عهد اليها بتجربة القنبلة الذرية عند بيكينى عام ١٩٤٦ ، أما « فيشر » فهو جيولوجى تخصص فى علوم البحار وقد بدأ دراسته للبكالوريوس بمعهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية ثم أتم دراسته بجامعة «نورث وسترن» وبمعهد « سكريبس » . ويباشر فيشر دراسات حقول التجارب بكثير من أخاديد المحيط الهادى . وقد كان الرئيس العلمى لبعثات معهد « سكريبس » للشواطىء الغربية للمكسيك وأمريكا الوسطى .

●

شكل الأرض

بقلم

وايكو هايسكانن

لو كانت الأرض كروية تماما لكانت الحياة أبسط كثيرا وخاصة بالنسبة لراسمى الخرائط والجعرافيين والملاحين المتخصصين فى علم الفيزياء الأرضية والمنقبين عن البترول وكثيرين غيرهم من الاخصائيين . أما وأن الأرض منبعجة عند خط الاستواء ومنبطحة عند القطبين (نتيجة لدوران الأرض) فان ذلك يسبب كل أنواع الصعوبات العملية للجنس البشرى ، كما يعقد الأمور كثيرا بالنسبة لعلم المساحة ومقاييس الأرض . والأدهى من ذلك أن الأرض ليست منتظمة فى شكلها البيضاوى ، وفضلا عن عدم انتظام سطحها (من جبال وسهول وبحار) فان شكل الأرض أكثر تشوها من ذلك ، فهو أشبه ببرتقالة بعجتها الضغوط .

لاتخطئوا فهم ما أعنى : ان كل مظاهر الخروج عن الشكل الكروى تعتبر صغيرة بالنسبة لابعاد الأرض فالفرطحة عند القطبين مثلا من الضآلة بحيث أن المسافة بين مركز الأرض

وسطحها عند القطبين تقل بحوالى ١٣ ميــلا فقط عن المسافة بين المركز والسطح عند خط الاستواء ــ وهو فرق يبلغ ٣/١ ٪ ثلث فى المائة فقط من متوسط نصف قطر الأرض البالغ ٤٠٠٠ ميــل تقريبا . غير أن هذه الفوارق رغم اعتدالها فهى تجعل رسم الخرائط المساحية للأرض وتحديد شكلها أمرين غاية فى الصعوبة . فليست لدينــا قدمة نستطيع أن نطوق بها الــكرة التى نعيش فوقهــا : والوسيلة الوحيدة لتتبع محيط الأرض وتسجيل أبعاده هى أن ننتقل على سطحها ومعنا « مقياس جاذبيــة » ، لرصد الفــروق الدقيقة فى مقدار الجاذبيــة من نقطة الى أخرى ، كدليــل على المرتفعات والمنخفضات فى سطح الأرض على طول المحيط المتموج .

والأساس فى عمليات الرصد هذه هو القانون العام للجاذبية لاسحق نيوتن : يتجاذب الجسمان بقوة تتناسب طرديا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة بينهما . وبالنسبة للجسم الكروى يمكن اعتبار كتلته مركزة عند مركزه ، وعلى هذا فان قراءات الجاذبية عند سطح الأرض تمــدنا بمعلومات يمكننا أن نحسب منها ، مع غيرها من المعلومات ، كثافة الكتلة الأرضــية الواقعــة تحتنا ، وكذلك التغيرات فى المســافة بين مركز الأرض ومختلف النقط على سطحها .

ولا بد أن نأخذ فى اعتبارنا عوامل أخرى معينة تؤثر فى قوة الجاذبية . وعلى سبيل المثــال ، نجد أن القــوة المركزية الطاردة لدوران الأرض تضاد قوة الجاذبية ، وتكون هذه القوة الطاردة المضادة أكبر ما يمكن عند خط الاستواء ، ثم تقــل تدريجيا مع خطوط العرض حتى تصل الى الصفر عند القطبين . ولهذا السبب ،

وبسبب قصر المسافة أيضا عند القطبين ، تزداد قوة الجاذبية قليلا كلما اتجهنا نحو القطبين . ومن النتائج الهامة المترتبة على ذلك أن قراءاتنا تختلف مدلولاتها باختلاف خطوط العرض اذا فرضنا أن الظروف الأخرى متماثلة فقد كان من المتوقع فى الدورة الاولمبية بملبورن فى أوستراليا عام ١٩٥٦ أن يسجل أبطال الوثب العالى وقاذفو الرمح أرقاما قياسية أعلا من تلك التى سجلت بهلنسكى عام ١٩٥٢ . والأرقام القياسية الأولمبية القديمة جميعا قد ضربت فى الواقع بأرقام أعلا فى دورة ملبورن ، ما عدا الوثب الطويل . ومع كل ، فلا يمكننا أن نعزو الى تأثير الجاذبية قدرا يعدو جزءا ضئيلا جدا من الفرق بين الأرقام الجديدة والأرقام القديمة ، والبالغ ١٧ قدما و ٤ بوصات فى قذف الرمح ، ٢ر٨ بوصة فى الوثب العالى .

وتأثر الأرقام القياسية فى الألعاب الرياضية ليس الا مثلا ضئيل الأهمية فمجال الجاذبية الأرضية له كثير من التطبقات الواقعية والهامة ، ما بين تحديد مواقع الحقول البترولية ، الى الاختبارات العلمية البحتة المتصلة بحجم الأرض وشكلها وتركيبها. وجماعات الرصد التثاقلى تجوب أنحاء العالم لقياس الجاذبية فى أكمل بقعة ، وسوف ينشط هذا العمل بمناسبة السنة الجيوفيزيائية الدولية .

وتصل الأجهزة الحديثة فى دقة تقديرها للجاذبية الأرضية الى حد تقريبها الى جزء من ٥٠ مليون . ففى الطريقة التقليدية يستخدم البندول المتذبذب : يتخذ زمن الذبذبة لبندول ذى طول معين مقياسا للجاذبية ، ويمكننا الحصول على تقدير دقيق جدا للجاذبية الأرضية بتعيين زمن بضعة ملايين من الذبذبات . ولايزال البندول

هو الجهاز العيارى لتقدير القيمة المطلقة للجاذبية ، غير أن الجهاز الشائع استعماله اليوم هو مقياس الجاذبية المعروف بالجرافيميتر (Gravimeter) وهـو نوع من المقيـاس الزنبركى متنـاهى الحساسية . وتقاس الجاذبية بمقدار الاستطالة التى يحدثها جذب الأرض فى سلك رفيع من السيليكا أو من سـبيكة من النيكل والصلب ، يتدلى منه ثقل صغير . ونظرا لأن وزن مقياس الجاذبية هذا لا يتعدى بضعة أرطال فان من السـهل حمله الى أى مكان وتقدير قيمة الجاذبيـة فى زمن لايعـدو ثلاث أو خمس دقائق . وقراءات مقياس الجاذبية قراءات نسبية ، أى تؤخذ بالمقارنة بين مكان وآخر ، ويجب العودة فى حسابها الى قـراءة مطلقة تعين بطريقة أخرى فى محطة تعتبر مرجعا أساسيا .

وفى أعماق المحيط تؤخذ القراءات داخل غواصات بجهـاز صممه فى براعة أستاذ الفيزياء الأرضية الهولاندى ف . أ . ڤيننج ماينز (F. A. Vening Meinesz) وفى هذا الجهاز تستعمل ثلاثة بندولات كى تتلافى أثر تدخل حركة الماء وتسجل الجاذبية الأرضية فحسب (ومن سوء الطالع أنه ليس من السهل الحصول على غواصة تخصص للأغراض العلمية البحتة) . وتعين مقـادير الجاذبية فى المياه الضحلة باستعمال مقياس جاذبية معقد ، موضوع فى صندوق محكم ، من تصميم شركة الخليج للبترول (Gulf Oil Company) فيدلى الجهاز الى القاع وتسجل القراءات من قارب على سطح الماء .

وقد اختير برج هلمرت بمرصد « بوتسدام » بألمانيا ليكون مقرا للمحطة العيارية العالمية لتقارن بها قراءات الجاذبيـة فى كل مكان . وفى تلك المحطة استعمل بندول دقيق جدا لتعيين قيمـة

الجاذبية المطلقة ، وحددت قيمتها بمقدار ٩٨١٫٢٧٤ جال ، وتلك التسمية للوحدة التثاقلية مشتقة من اسم العالم جاليليو (Galileo) وهى قوة التثاقل التى يعبر عنها بمقدار العجلة التى يتحرك بها جسم ساقط نحو الأرض دون عائق . ومعنى هذا أن الجسم الساقط فى بوتسدام تتزايد سرعته بمعدل ٩٨١٫٢٧٤ سم / ثانية / ثانية .

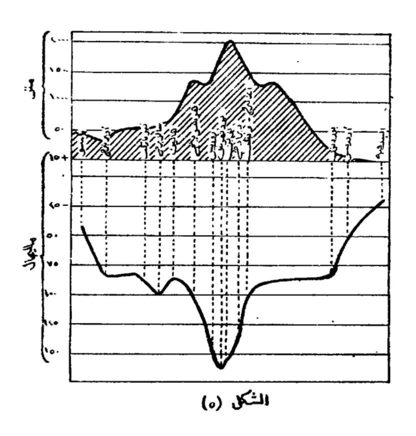
والمتبع فى التطبيق العملى ألا تدرج معظم قراءات الجاذبية فى بوتسدام ولكنها تدرج فى محطات رئيسية أخرى مرتبطة ببوتسدام ارتباطا مباشرا أو غير مباشر . وهناك مئات من المحطات الرئيسية والعيارية فى واشنجتن وباريس وتيدنجتن بانجلترا وأماكن أخرى

والهدف هو أن تنتشر فى النهاية محطات فى جميع أنحاء العالم ترتبط بمحطة بوتسدام العيارية . وسوف يساهم برنامج السنة الجيوفيزيائية العالمية بدور هام فى تحقيق هذه الغاية . وعندما نحصل على قراءات للجاذبية يمكن مقارنتها فى جميع أنحاء العالم سيكون فى مقدورنا أن نقدر ونحدد الشكل الحقيقى للأرض .

عندما يعالج رجل المساحة وعلم المقاييس دراسة الأرض يجد أمامه ثلاثة « أراض » أو ثلاثة أشكال مختلفة للأرض . فهناك أولا « أرض المتخصص فى علم الهندسة الرياضية » (أى الأرض كما يعالجها أستاذ الهندسة الرياضية — جسم بيضاوى تماما ومنتظم ، وهو تقريب لشكل الأرض ويتخذ مرجعا عاما . ثم هناك « أرض مستوى البحر » (أى سطح الأرض العمودى على اتجاه قوة الجاذبية عند جميع النقط التى تحدد السطح) ، ونجد شكل الأرض

هنا غير تام الانتظام بسبب التغيرات فى كتلة الأرض ، فالسطح متعرج ، ويمكن قياس تعرجه عند أى موضع باستعمال مقياس الجاذبية . وأخيرا هناك الشكل الحقيقى للأرض نفسها ، بجبالها ووديانها وسهولها ومنخفضات محيطاتها .

والشكل البيضاوى المتخذ مرجعا عاما هو الشكل الذى استنبطه عام ١٩١٠ ج . ف هايفورد (J. E. Hayford) عضو مصلحة السواحل والمساحة ومقاييس الأرض بالولايات المتحدة .



الشكل (٥)

رسم يبين شواذ الجاذبية فى منطقة الالب . ليست قوى الجاذبية عند مواضع متعددة تختلف فى ارتفاعها وتقع بين « باسلو » على الدانوب الاعلى بباﭬاريا والبندقية عند سطح البحر . وقد وجد أن الجاذبية أقل مما يجب أن تكون عليه عند ارتفاعات هذه الاماكن . مما يدل على وجود جذور صخرية خفيفة نسبيا بارزة تحت الجبال .. ووحدة الجاذبية هى المليجال.

وفى عام ١٩٣٠ استنبط المؤلف بالاشتراك مع أستاذ الفيزياء الأرضية الأيطالى ج . كاسينيس (G. Cassinis) معادلة تعطى القمية النظرية لقوة الجاذبية على سطح الأرض عند أى خط عرض ، وذلك على فرض أن شكل الأرض بيضاوى منتظم كما حدده هايفورد فى مرجعه . وتستخدم هذه المعادلة معيارا للكشف عن تغيرات الجاذبية أو شواذها . ومن هذه التغيرات أو الشواذ يمكننا استنباط صورة دقيقة للقشرة الأرضية وطبقاتها .

لنفترض أننا رصدنا قراءة للجاذبية عند نقطة معينة على جبل الألب فى سويسرا . هذه القراءة تختلف بالطبع عن القمية النظرية أو المتوسطة لخط العرض هذا . وأول الأسباب وأهمها هو أن هذه النقطة واقعة على جبل ، فبعدها عن مركز الأرض أكبر من البعد المتوسط . ولهذا يجب أن نصحح هذه القراءة لتعطينا مقدار الجاذبية المعيارى عند مستوى سطح البحر بالنسبة لهذه النقطة من الجبل . ويبلغ مقدار التصحيح حوالى ٠٫٠٠٩٥ جال لكل ارتفاع قدره ١٨٠٠ قدم . وبعد ذلك قد يفترض المرء أن علينا أن نجرى تصحيحا آخر بالنسبة للزيادة فى الجذب الناجمة عن كتلة الجبل الواقعة تحت هذه النقطة (وبالمثل أنه يجب فى حالة القراءات فوق سطح البحر أن ندخل تصحيحا بالنسبة لخفة وزن الماء) ، غير أنه من الغريب أن كتلة الجبل لا ترفع قراءة الجاذبية بالطريقة التى قد يتوقعها المرء . والسبب فى هذا أن القشرة الأرضية فى هذا المكان تتكون من مادة أقل كثافة ولها جذور تمتد الى مسافات أعمق مما نجدها فى الأراضى المنخفضة (أنظر شكل ٥) ، فى حين أن القشرة الأرضية تحت أعماق المحيطات رقيقة جدا وتمتد جذور القارات فى القشرة الى عمق يصل الى ٣٠ ميلا ،

وعند هذا العمق يكون الوزن ، من سطح الأرض ، متساويا تقريبا عند كل الأماكن ، سواء كان تحت الجبال أو السهول أو البحار . وتسمى هذه الحالة بحالة يتساوى فيها التوازن الاستاتيكى (Isostatic equilibrium) . ويربط قراءات الجاذبية بارتفاع السطح عن البحر نحصل على مقدار لسمك القشرة عند أى مكان . وقد عينت مع بعض طلابى هذا السمك فى عدد من الأماكن بأوربا وآسيا وأفريقيا وتتفق نتائجنا مع تلك التى حصل عليها السيسمولوجيون من مشاهداتهم لزمن وصول موجات الزلازل .

اذا أخذنا قراءات للجاذبية فى كل مكان على سطح الأرض وصححناها بالنسبة لسطح البحر فاننا نحصل على بروفيل تثاقلى يعبر عن شكل الأرض فى صورة سطح متعرج كما أشرنا الى ذلك من قبل . وهو يبين شواذ الجاذبية الناتجة عن الزيادة أو النقص فى الكتلة . وغالبا ما يكون السطح التثاقلى عند أى مكان على وجه الأرض مائل السطح بالنسبة للسطح البيضاوى تماما . واذا أدلينا ثقلا من خيط فان هذا الخيط يكون عموديا على جسم الأرض عند هذا الموضع وليس عموديا على المجسم البيضاوى الذى اتخذناه مرجعا ، والزاوية الواقعة بين العمودين تساوى زاوية ميل السطح التثاقلى على سطح المرجع البيضاوى . ويسمى انحراف الخيط « بالانحراف عن الاتجاه الرأسي » .

فى عام ١٨٤٩ اقترح العالم الفيزيائى الانجليزى السير جورج ستوكس (George Stokes) أن شكل المجسم الأرضى «يمكن حسابه من قياساتنا للجاذبية فى مختلف أنحاء العالم » . وفى عام

١٩٢٨ وضع « فيننج ماينيز » معادلة لاستنباط ميل السطح عند أى مكان . ولا يزال ما لدينا من المشاهدات أقل بكثير مما يكفى للوصول الى صورة دقيقة لشكل المجسم الأرضى ، ولكن بعض طلابى بالمعهد الدولى للتساوى الاستاتيكى بفنلنـدة استنبطوا شكلا تقريبيا له من واقع القياسات التى فى حوزتنا ، كما أن النتائج التى حصل عليها الراحل « ل . تانى » (L. Tanni) فى عام ١٩٤٨ لا يعدو الخطأ فيها ٣٠ قدما عند معظم أماكن الرصد التى أجرى الحساب عندها .

والطريقة الوحيدة لايجاد الاتجاهات الرأسية الحقيقية لشكل الأرض ، ومن ثم قياس نصف قطـر الأرض وحجمها ، هى أن نعرف ميل السطح للمجسم الأرضى عند أمكنة مختلفة (أنظـر شكل ٦) . ويلزم أيضا أن نعرف الاتجاه الرأسى الحقيقى لكى نحدد المواقع على سطح الأرض بمعاينة النجوم . فمثلا لتحـديد خط العرض يكون مرجعنا نقطتين : النجم الشمالى ونقطة السمت وهى النقطـة التى تعلونا رأسا . وكما يستبين من الخيط الذى يتدلى منه ثقل (المطمار) فان نقطة السمت تتغير بتغيرميل السطح للمجسم الأرضى عند موضع الرصد ، واذا شئنا مقارنة قراءاتنا فلابد أن نعين نقط السمت من الاتجاه الرأسى الحقيقى (العمودى على الشكل الهندسى التام الانتظام) عنـد كل محطة على سطح الأرض .

والفكرة الأساسية فى رسم الخرائط بالطريقة التثاقلية (قياس الجاذبية) وفى البرنامج الحالى لقياسها فى كل أنحاء العالم ، هى أن انحرافات المجسم الأرضى وميل سطحه عند كل مكان يمكن استنباطهما من الشذوذ المشاهد فى الجاذبية . وتوضع الخرائط

عادة باختيار نقط المراقبة وقياس أبعاد النقط الأخرى واتجاهاتها بحساب المثلثات. ويتطلب هذا العمل أن نفترض قيما معينة لانحناء السطح الذى نعتبره مرجعا ، للاتجاهات العمودية عند نقط المراجع . ويلاحظ أن خرائط المناطق المختلفة لا تلتئم الواحدة مع الأخرى التئاما صحيحا لانها منسوبة الى مراجع مختلفة . واذا كانت المنطقتان المراد وضع خريطتيهما متقاربتين فان الاختلافات يمكن تصحيحها بالربط المباشر بينهما . أما اذا كانت المساحات كبيرة جدا أو تفرق البحار بين أجزائها بحيث يتعذر قياس الأبعاد والمثلثات فوق السطح ، فان الأمر يصبح عسيرا أو مستحيلا . وعلى كل حال ، فان الطريقة التثاقلية تعتبر أسرع وأدق طريقة لربط جميع الخرائط بالنسبة لمرجع مشترك موحد .

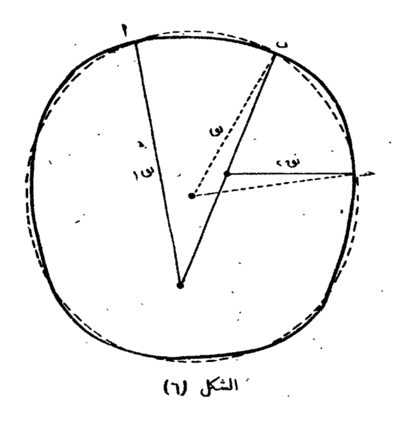
وحتى عام ١٩٤٨ كانت احداثيات النظام السويدى تختلف عن احداثيات النظام الهولندى بأكثر من ٣٠٠ قدم لنفس نقطة المراقبة ، وكان النظام الفرنسى يختلف عن النظام الانجليزى بحوالى ٦٠٠ قدم . ولم يمكن لأحد أن يتكهن بالفروق بين النظم المساحية بالنسبة للقارات المختلفة .

اذن فارساء نظام مساحى عالمى موحد هدف من أهداف برنامج الجاذبية العالمى « وسيكون هذا ميسورا عندما يتم لنا الحصول على قراءات كثيرة تسمح بتطبيق معادلتى « ستوكس » و «فيننج ماينز » لشكل المجسم الأرضى تطبيقا دقيقا . وستمكننا البيانات أيضا من رسم خرائط للمناطق المتخلفة التى لم تعين بها بعد نقط مساحية .

ويمكننا عمل خريطة دقيقة الى حد معقول بتحديد مجموعة

من المواضع المتفرقة تحديدا فلكيا مع اجراء التصحيح اللازم لها بسبب الانحراف عن الاتجاه الرأسى .

يعقـد الأمل فى أن يتم قياس الجاذبية على نطاق عالمى خلال الأعوام القليلة المقبلة . وقد وضع المؤلف برنامج هذا العمل بمعمل أبحاث الخرائط بجامعة ولاية أوهايو ، تحت اشراف مركز أبحاث كمبردج التابع للسلاح الجوى الامريكى . ويتعاون فى هذا العمل



الشكل (٦)

تنشا الاخطاء فى قياس نصف قطر المجسم الأرضى (الشكل البيضاوى المنقط) بسبب عدم انتظام شكل « سطح مستوى البحر » او السطح التثاقلى (المنحنى الثقيل) . وحيث يكون السطح التثاقلى أكثر فرطحة من الشكل البيضاوى (المتخذ مرجعا) كما بين النقطتين أ ، ب ، فان العمودين عند أ ، ب يتقابلان عند نقطة ابعد من المركز الحقيقى ، ومن ثم يكون نصف القطر نق١ أكبر مما يجب . وحيث يكون شكل السطح التثاقلى أكثر انحناء ، كما بين النقطتين ب ، حـ يلتقى العمودان عند نقطة اقرب من المركز مما يؤدى الى قيمة لنصف القطر نق٢ اصغر مما يجب .

ثلاثون دولة ، ومعظم شركات البترول الكبرى ، ومتخصصون فى علم المساحة ومقاييس الأرض من جميع أنحاء العالم . ولدينا كبداية مئات الألوف من قراءات الجاذبية التى وافتنا بها بسخاء شركات البترول ، والقياسات التى تمت محليا فى بعض الدول ، وحوالى ٤٠٠٠ محطة قيست فى البحر ، وقام بقياسها أساسا ڤيننج ماينز وموريس ايوينج (Maurice Ewing) و ج . لامار فورتسيل (J. Lamar Worzel) بجامعة كولومبيا .

وتنحصر الأغراض الرئيسية من البرنامج فى مراجعة أبعاد الأرض ، وايجاد شكل المجسم الأرضى بالتفصيل ، وتحويل النظم المساحية الحالية الى نظام عالمى موحد دقيق ، واعداد نقط تتخذ مراجع عند اعداد خرائط مساحية للمناطق التى تعوزها نقط مساحية .وطريقة الرصد التثاقلى ، سوف تيسر لنا مهمتنا فى انجاز هذه الأعمال جميعها .

قشرة الأرض

بقلم

والتر ه . بوتشر

يجتاز علم الجيولوجيا عهداً من الاكتشاف لانظير له. فالتعاون الوثيق بين الجيوفيزيائيين والجيولوجيين فى عمليات الاستكشاف المنظمة على القشرةالأرضية ، مستخدمين أحدثوسائل الاختبار ، قد أشاح عن معلومات جديدة عن قاع المحيطات ، ووصل بنا الى أغوار عميقة فى سطح القارات ، ومكننا من أن نحيط بالجيولوجية الاقليمية احاطة دقيقة . ومن ثم فان آراءنا التقليدية عن العمليات الفيزيائية والكيميائية التى نشأت بها الأرض ، والتى لا تزالحتى الآن تحور فى قشرتها ، هذه الآراء تتعرض اليوم لهزة كبرى . بأى أسلوب تم بناء القارات والمحيطات هذا البناء المتنافر ؟ هل عملية البناء هذه لاتزالمستمرة فتخلق فى المستقبل قارات جديدة؟ فى بحثنا عن اجابة لهذين السؤالين يغمرنا جو من الشك والطموح التى ينطبع بها أى علم وهو فى عصر ازدهاره . ويعالج هذا الجزء من الكتاب بعض ما اعترى آراءنا من تطورات أوحت بها تجاربنا فى بضع عشرات السنين الماضية .

قشرة الأرض طبقة باردة صلبة نسبيا ، لا يزيد سمكها فى الأرجح على ٣٠ ميلا ، أى أقل من $\frac{٣}{١٠٠٠}$ من المسافه بين سطح الأرض ومركزها . وتقوم فكرة وجود القشرة الأرضية على فرض أنه تحت عمق معين ترتفع درجة الحرارة ويشتد الضغط تفقد الصخور قدرتها على مقاومة تحور شكلها تحت عوامل الاجهاد المستمرة لفترة طويلة من الزمن . ويدل ما نشاهده من معدل ارتفاع درجة الحرارة فى ماسورات الآبار ومهابط المناجم على أن درجة الحرارة لابد أن تصل الى ١٠٠٠ درجة مئوية عند عمق ٣٠ ميلا تحت سطح القارات والمعتقد أن الصخور الموجودة تحت هذا العمق يتعذر عليها أن تقاوم فروق الاجهاد الصغيرة نسبيا ، وأنها تتشكل لدنة تحت هذا الاجهاد .

ان ما يقع تحت نظرنا من هذه القشرة لا يعدو جزءا صغيرا منها . والقطاعات التى تتمكن من رؤيتها انما جلبتها الى أنظارنا عوامل الرفع والميل والتعرية فى القارات والجزر . وكلما ازداد ما يتكشف لنا من القشرة ، يدلنا تنوع موادها وما سبق أن عانته من عوامل الطى والتشقق على وجود نشاط ديناميكى داخل الأرض ، الأمر الذى يتعارض والرأى السائد عن استاتيكية القشرة كمجموعة من الطبقات المتحدة المركز . ولا بد أن يكون مبعث هذا النشاط تغيرات قوية تجرى تحت القشرة ، مما يوحى الينا أن الأرض العتيقة تدب فيها الحياة ، أكثر مما يتصوره المرء من قراءة الكتب الدراسية ، وتفسير هذا النشاط الديناميكى من المشاكل المعقدة فى فيزياء الأرض .

ولن يتيسر لنا أن نهتدى الى تفسير شاف قبل أن ننمى معلوماتنا عن تركيب الطبقات العميقة من القشرة . وتلك هى المهمة

الملقاة على عاتق الجيوفيزيائيين والجيولوجيين فى عصرنا الحاضر وهم يعملون يدا بيد فى أسلوب جماعى . ومجال عمل الجيولوجى ينحصر فى الجزء الظاهر من طبقات الأرض ، والتى تغطى ربع مساحتها تقريبا . أما الثلاثة أرباع الباقية فيحجبها الماء والثلوج ، وكذلك تخفى علينا الأجزاء العميقة من القشرة فى أى مكان ولهذا يتحتم علينا أن نكشف غوامضها كشفا غير مباشر بأرصادنا الجيوفيزيائية مثل قياس القيم المحلية للجاذبية وقياس سرعة الأمواج الصوتية فى طبقات الأرض المرنة المختلفة ، وقياس اتجاه المجال المغنطيسى الأرضى المحلى ، وشدة هذا المجال . والنتائج التى تسفر عنها هذه القياسات يجب أن تترجم بعد ذلك الى ما يمكن أن تعنيه من حقائق جيولوجية محضة .

ومن المناسب أن نتناول بالبحث الجزء الواقع تحت القارات والجزء الواقع تحت المحيطات كلا على حدة . ما هو تركيب القشرة فى الجزء الواقع تحت القارات ؟ اننا نستمد أول الأدلة فى هذا الصدد من تحليل أزمنة وصول الموجات الزلزالية التى تصدر من نقط معلومة تعرف بالبؤر وتسرى فى أجزاء من هذه القشرة . وتدل هذه القياسات على أن القشرة تحت كل القارات تتركب من جزءين : الجزء الأعلى ، وتنتقل فيه الموجات المرنة بسرعة صغيرة نسبيا ، والجزء الأسفل ، وتسرى فيه الموجات بسرعة أكبر . ومقدار الفروق بين هذه السرعات يدل على اختلاف مواد صخور طبقتى القشرة . ودراساتنا فى المعمل لسرعة انتقال الموجات المرنة فى مختلف أنواع الصخور تمدنا بالدليل على نوع الصخور السائدة فى كل من الطبقتين .

هناك نوعان عامان من الصخور الأرضية الأولية ، والتى

نسميها بالصخور النارية ، وقد تكونت بالتبريد والتبلور بعد حالة الانصهار الأصلية . والنوع الأول غنى بعنصرى السيليكون والألومنيوم ، ولذا أطلق عليه الاسم « سيالى » (Sialic) أما النوع الثانى فنسبة هذين العنصرين فيه ضئيلة ، لكنه غنى بعنصرى المغنسيوم والحديد ، ويسمى هذا النوع بالاسم « مافى » (Mafic) وأكثر أنواع الصخور السيالية شيوعا هو الجرانيت ، وأكثر الأنواع المافية شيوعا هو البازالت . وفى هذا الجزء من الكتاب سيكون المقصود بالتعبيرين « جرانيت » و « بازلت » هو النوعين المذكورين من الصخور النارية عموما

وباختبار هذه الصخور فى المعمل نجد أن انتقال الموجات المرنة فى البازالت أسرع منه فى الجرانيت . وحيث أن موجات الزلازل تنتقل فى الطبقات العميقة من قشرة القارات أسرع من انتقالها فى الطبقات السطحية ، من ذلك نستنتج أن الطبقات العميقة مكونة من البازالت ، بينما تتكون الطبقات السطحية من الجرانيت . ويبدو أن مساحات شاسعة من قاع المحيطات تخلو من الجرانيت ، فتتكون القشرة هناك من البازالت المغطى بغلاف من الطبقات الرسوبية الحديثة .

ويوحى هذا التوزيع بأن جرانيت القشرة الارضية قد نشأ كنوع من الزبد فوق الطبقة البازالتية الأصلية ، وكان هذا هو الرأى السائد زمنا طويلا . غير أن هذا الرأى قد أصبح موضعا للشك بسبب بعض الخصائص التى يقترن بها توزيع الصخور الجرانيتية . فانك لا تجد بين الصخور الجرانيتية بالأرض كتلة ضخمة واحدة منها تقع ببساطة فوق الطبقة البازالتية ، ولكن مثل هذه الكتل طالما توجد مرتبطة ارتباطا وثيقا بالتجمعات الضخمة

من الصخور الرسوبية القديمة ، التى يبدو أنها عانت من جراء غزو الصخور الجرانيتية لها نوعا من التفاعلات ، فتحولت عند درجات الحرارة والضغوط المرتفعة الى ما يسمى بالصخور المتحولة .

ومفتاح مشكلة تركيب القشرة يكمن فى هذا التنافر فى علاقات تركيب الجرانيت والبازالت . وعلينا أن نمعن النظـر فى تركيب القارات كما تبدو لنا عند سطحها ، كى نحيط بالموضوع احاطة أدق .

تشترك القارات جميعا فى أوجه التركيب الأساسية . فكل قارة تحتوى على الأقل على « درع من صخور عصر ماقبل الكمبرى » (Pre-Cambrian Shield) يغطى منطقة كبيرة من الهضـاب تتكون أساسا من صخور قديمة ، عبارة عن طبقات رسوبية نتيجة لغزو الصخور النارية لها ، ومعظمها من الجرانيت . وتعتبر هذه الصخور الأساس بالنسبة لجميع القارات . وقد نشأت أصـلا عند أعماق كبيرة تحت السطح ، أما الآن فتبدو مكشوفة عنـد السطح ، منحنية الى أعلا بتأثير عوامل الرفع المحلية ، ثم استوى سطحها بعد ذلك بفعل عوامل التعرية .

وصخور الأساس التى يظهر منها جزء فى كل قارة ، تمتـد مختفية عن الانظار تحت طبقة من الرواسب الحيوانية القديمـة (Paliosoic Sedements) التى ترسبت فوقها . الوجه التركيبى الثـانى تمثله اذن هـذه الطبقات الرسـوبية التى تعلو صخور أساس عصر ماقبل الكمبرى . وتتكون الطبقات الرسوبية عموما من بضعة آلاف الأقدام من الحجر الجيرى وضرب من الصخور تعرف بالطفل ، والحجر الرملى . وأخيرا يوجد بكل قارة حزام

من الجبال يعترى طبقاتها الكثير من الطيات ــ وهذه الجبال عبارة عن كتل ضخمة من الصخور الرسوبية ، معظمها من أصل بحرى ، مضغوطة وذات طيات ، وتتخللها فوالق عديدة .

وفى عام ١٨٥٩ لاحظ الجيولوجى الأمريكى « جيمس هول » (James Hall) أنه كلما ابتعد المرء عن سهول الطبقة الرسوبية متجها نحو الحزام الجبلى ، ازداد سمك الطبقة الرسوبية ، وأنحدرت صخور الأساس الواقعة تحتها الى أغوار غير معلومة . وتظهر الصخور الجرانيتية وسط هذه الطبقة السميكة من الرواسب . فالجرانيت ليس جزءا من صخور الأساس « الخامدة» لكنه صخر نارى « نابض بالحياة » ، أغار على الطبقات الرسوبية فى كتل كبيرة وحولها الى صخور متحولة من نفس النوع المقترن بالصخور الجرانيتية فى دروع القارات . والأجزاء المتحولة فى الأحزمة الجبلية الحديثة الضخمة اذا تعرت الى مستوى البحر ، فانه ، من حيث نوع الصخور وتركيبها ، يصعب التمييز بينها وبين ما يرتبط بها من جرانيت دروع القارات . وفى الواقع ، كلما تعمقنا فى دراسة التركيب المعقد لدروع القارات ، تأكد لدينا أنها تتكون من بقايا أحزمة جبال ذات طيات سالفة ، كانت قد نشأت خلال المليون ونصف مليون العام الأولى من تاريخ الأرض . واذا شئنا أن ندرك كيف نشأت القشرة الواقعة تحت القارات فلايجوز أن نقتصر على دراسة هذه البقايا المتعرية ، بل يجب أن ندرس أيضا أحزمة الجبال المطوية الحديثة الموجودة حاليا .

قبل أن يصبح علم الجيولوجيا علما منظما ، وقع بطريق الصدفة كشف بالغ الأهمية بمنطقة « الانديز » فى « بيرو » ، وهى واحدة من أكبر أحزمة الجبال ذات الطيات الحديثة . ففى عام

١٧٤٠ بينما كانت بعثة فرنسية موفدة الى بيرو لقياس طول قوس من خط الزوال اكتشفت أن ميل خيط المطمار ضئيل جدا بالنسبة لقوة الجـذب التثاقلي لمرتفعـات الأنديز ، ولاحظت أن النقص المشاهد فى ميل الخيط كان أقل من المتوقع فى وجود مثل هـذه الزيادة فى الكتلة فوق السطح . وكان مكتشف هذه الظاهرة هو العالم الرياضى الفرنسى « بيير بوجيه » (Pierre Bouguer) الذى استنتج أن صخور هذه الجبال وما يقع تحتها الى مسافات محدودة أخف من الصخور المحيطة بها . وقد ظن « بوجيه » أن ذلك قد يكون ناشئا عن تمدد الصخور العميقة بتأثير الحرارة .

وبعد مائة عام من اكتشاف « بوجيه » تدعم استنتاجه بمـا لاحظه الفلكى الانجليزى « جورج ب . أيرى (George B. Airy) من نقص فى قوة الجـذب التثاقلي بالنسبة لجبـال الهيمالايا . فالصخور التى تعلوها جبال تكون أقل كثافة من الصخور المحيطة بها . وافترض أيرى أن صخور القشرة الجرانيتية الخفيفة تمتد تحت الجبال الى مسافات عميقة خلال الطبقة البازالتية التى تليها والتى تفوقها كثافة . ومن خلال هذا الاقتراح انبثقت فكرة أن للجبال « جذورا ». واقترح أيرى أن الجبال « وجذورها » تطفو فوق ما يحيط بها كما يطفو جبل الجليد فوق الماء . وكلما قل وزن الجبل كلما طفا أعلى .

وفى الأعوام الأخيرة أثبتت الأساليب الحديثة الدقيقة لقياس القيم المحلية للجاذبية بصفة قاطعة أن قيمة الجاذبية تقل بوجـه عام كلما ازداد ارتفاع السطح ، غير أن النقص المشاهد فى قيمـة الجاذبية أكبر مما يمكن أن يعزى الى مجرد الارتفاع عن سطح البحر . ويطلق التعبير « فرق بوجيه للجاذبية » على الفرق بين

القيمة الحقيقية المشاهدة للجاذبية والقيمة النظرية المتوقعـة على فرض تساوى كثافة الصخور جميعا . ويبين الشكل (٥) قطاعات فرض تساوى كثافة الصخور جميعا . ويبين الشكل (٥) قطاعا تثاقليا يعبر عن فروق بوجيه عبر جبال الألب الشرقية . ففى هذه المنطقة جميعها نجد أن الجاذبية عند أى مكان أقل مما يجب أن تكون عليه اذا افترضنا أن الكثافة فى هذه المنطقة تساوى متوسط الكثافة فى المنـاطق غير الجبليـة . وأهم من ذلك أن الفـرق فى الجاذبية يتزايد بتزايد ارتفاع السطح ، ويبلغ هذا الفرق أقصاه عند قمة الجبل ، وهذا فى الواقع يوحى بوجود « جذر » للجبل . وتمدنا الدراسات السيسمولوجية بدليل حاسم . فالواضـح أن سرعة انتقال أمواج الزلازل عند المستويات العميقـة تحت القشرة فى جبال الألب الشرقية أقل منها عند مثل هذه الأعماق فى المناطق الأخرى ، مما يدل على أن الصخور الخفيفة (والتى تنتقل فيها الموجات ببطء) تمتد عميقا الى أغوار تكون عادة مـكونة من صخور أكثر كثافة . وبعبارة أخرى ، فان لجبال الألب « جذرا » جرانيتيا . والأمـر كذلك بالنسبة لمناطق الجبال الحـديثة ذات الطيات التى تمت دراستها .

هل « تطفو » هذه الجذور الجبلية فى المواد البازلتية الأثقل منها وفى المواد الصخرية فوق القاعدية ، أم أنها أشبه بجـذور الأسنان فى الفك ؟ تتعذر الاجابة على هـذا السؤال بأى طريقـة جيوفيزيائية معروفة . على أن الاجابة يمكن أن تتوفر فقط بدراسة الجبال نفسها .

وتمدنا « السيرا نيفادا » بكاليفورنيا بالولايات المتحدة بمثال عتمد لمنطقة حديثة العهد بجبال ذات جذور جرانيتية واقعية كمـا

تعتبر المنطقة أيضا نموذجا من أفضل النماذج لحالة غزو الجرانيت للطبقات الرسوبية . وهنا ، كما فى جميع الجبال الحديثة ذات الطيات ، لابد وأن تقع صخور أساس ما قبل العصر الكمبرى على عمق أميال كثيرة تحت السطح . وتتكون المنطقة من طبقات رسوبية بحرية ، وخاصة الطفلية التى أحالتها الضغوط الى شكل معقد وطيات متقاربة . غير أن أكثر من نصف الطبقات التى ترسبت هناك قد اختفت تماما ، وحل الجرانيت محلها ، حيث يؤلف القلب الداخلى المترامى الأطراف لمنطقة السييرا نيفادا . من أين أتى الجرانيت ، وأين اختفت الرواسب ؟

الجواب التقليدى على السؤال الأول مضلل فى بساطته . فمنذ مولد علم الجيولوجيا قد اعتبر من باب البديهيات أن الطبقة السطحية للقشرة الأرضية تتكون أصلا من الجرانيت ، وأن الجرانيت يؤلف الأساس الذى ترتكز عليه جميع الطبقات الرسوبية. وفى فحوى النظرية التقليدية أن عملية الضغوط الجانبية على القشرة ، والتى تكون الجبال ، تدفع الجزء الجرانيتى من القشرة الى أسفل ليؤلف جذرا صلبا، والى أعلا وهو منصهر ليزيح الطبقات الرسوبية السميكة فى الحزام الجبلى .

وينطوى هذا الأمر على خصائص مزدوجة يشوبها شىء من الغرابة . فلكى تطفو المنطقة الجبلية الحديثة ، يجب أن تكون الجذور الجرانيتية قادرة على أن تحتفظ بشكلها وأن تقاوم التشكل لدرجة كبيرة أكثر مما تفعل الصخور البازلتية الواقعة تحتها . غير أنه فى الأعماق الضحلة وعند درجات الحرارة والضغوط المنخفضة ينصهر الجرانيت نفسه ويحل محل أحجام ضخمة من

الطبقات الرسوبية بعد أن يدفع بها الى أسفل بعيدا عن الانظار . ولا نعلم من الخصائص ما يستقيم وهذا التصرف المزدوج . فحيثما وجدت الصخور البازالتية والصخور الجرانيتية متشكلة جنبا الى جنب فى الأجزاء التى تعرت الى عمق كبير فى سطح الأرض نجد أن الصخور الجرانيتية ألين عودا من الأخرى . وعلاوة على ذلك فان درجة انصهار الصخور البازالتية أعلى منها للصخور الجرانيتية

ولهذا يتحتم علينا أن نفترض أنه عندما يتكون جبل حديث نتيجة للضغوط الواقعة على القشرة السطحية للقارة فان الجزء الجرانيتى الابتدائى يدفع الى أسفل ليندمج فى جزء القشرة البازالتى الذى يفوقه صلابة وكثافة ، ليكونا كتلة لدنة , وفى هذه الحالة يمكن للجذور ان تتكون ، غير أنها ليست بالجذور التى تطفو فى ما يحيط بها من المواد . وكل ما يحدث هو أن الجرانيت سوف يزيد من نسبة القشرة الصلبة اللدنة فى هذا المكان أكثر مما يفعل فى الأماكن الأخرى .

أصبحنا غير واثقين من أن الجرانيت كان عند نشأة الأرض يؤلف جزءا أساسيا من القشرة الابتدائية فتلك البديهية الراسخة من بديهيات علم الجيولوجيا تتحداها الآن حجة من أبرز الحجج فى علم الصخور المعاصر . وللموضوع صلة بالسؤال الثانى الذى أوردناه : أين اختفت الطبقات الرسوبية عندما حل الجرانيت محلها ؟

وقد حل الجرانيت محل الطبقات الرسوبية فى السييرا نيفادا الى ارتفاع ثلاثة أميال فوق سطح البحر ، فى منطقة تبلغ حوالى ٤٠٠ ميلا طولا ، ويصل عرضها فى بعض المواضع الى ٧٠ ميلا .



الشكل (٧)

تبين هذه الخريطة منخفضات ومرتفعات صخور الأساس التى ترجع الى عصر ما قبلا لكبمرى ، وذلك فى منطقة البحيرات الكبرى . وفى المساحة المظللة يبدو الصخر عند السطح . وفى المساحة البيضاء يقع الصخر تحت السطح عند الاعماق المبينة بخطوط تساوى الانخفاض ويبلغ عمق الاساس اكثر من ميل فى المنطقة الواقعة تحت متشيجان الوسطى .

وتدل الخرائط المفصلة على أن الجرانيت لم يحتل مكانه دفعة واحدة ، فالجرانيت فى غزوه للطبقات الرسوبية قدتقدم على دفعات متتابعة متسلسلة ، والعلاقات التركيبية المشاهدة ليست بالنوع الذى يتوقعه المرء اذا كان ما حدث هو مجرد دفع الجرانيت للطبقات الرسوبية جانبا . فهو يبدو وكأنه نحت له موضعا وسط هذه الرواسب . فكل كتلة جرانيتية كبرى تقع فى حزام من الصخور الرسوبية المتحولة ، أما المنطقة المحيطة بها فتبدو موادها الجرانيتية وكأنما قد رشحت ما حولها من الصخور بطريقة معقدة. وفى مثل هذه المناطق المتطرفة نجد أن الصخور الجرانيتية التى يتراوح سمكها بين آلاف الاقدام ، والرقائق الدقيقة فى سمك الورقة تتشابك ، وتتقاطع عبر منطقة وأخرى فى شكل قوائم أو

سدود نارية . وحتى فى المساحات الواقعة بين هذه الرقائق والسدود ، نجد أن بوتاس وصودا « الفلسبار » (وهو ضرب من الصخور الجرانيتية) متناثرة بانتظام على شكل بلورات مكتملة المعالم وحديثة التكوين ، أو مجموعات من هذه البلورات منتشرة فى غير انتظام وتشغل البلورات الحيز الذى كانت الصخور الرسوبية تشغله قبلا ، غير أنه ليس هناك ما يدل على أنها أقحمت فى مكانها هذا بالقوة . ولا بد أن تكون قد تبلورت من الطبقات الرسوبية الأصلية ، بعد أن أضيفت اليها نسب صغيرة من القلويات ، وربما أيضا من السيليكا وهى فى حالة غازية أو ذائبة . وتدل الدراسات المفصلة فى علم الصخور ، بما لا يدع مجالا للشك المعقول ، على أن أجساما كاملة من الجرانيت قد تكونت بمثل هذه العمليات ، وتسمى بعمليات « التجرنت » (Granitigation) .

وتحول الطبقات الرسوبية ، وحتى الحمم البركانية ، الى جرانيت أمر تقوم عليه الدلائل المقنعة ، حتى أن أحدا من المشتغلين بعلم الصخور لا يستطيع أن ينكر الآن أن بعض الجرانيت قد تكون بعملية التجرنت . والسؤال الآن هو : كم من الجرانيت الموجود بالأرض قد تكون بمثل هذه العمليات ، وكيف تتم هذه العمليات ؟

هناك مذهبان فى التفكير فى هذا الصدد . ويعتقد أصحاب المذهب القديم أن الجرانيت هو العامل المساعد فى عمليات التجرنت المحلى ، بينما يذهب المعارضون ، أى أصحاب المذهب الثانى ، الى أن الجرانيت ما هو الا النتاج النهائى لعملية التجرنت . ويعتقد الفريق الاول أن الكتل الجرانيتية فى الحالات النموذجية ليست أكثر من أجزاء من الجرانيت الابتدائى بقشرة الأرض ، وأن هذه

الأجزاء قد انصهرت فى أماكنها مرة ثانية ثم وصلت الى مواضعها الحالية بازاحة الصخور الأخرى ميكانيكيا ، وينفى هذا الفريق جدوى عملية التجرنت الكيميائى مصادفة عند أطراف الكتل الجرانيتية . ويرى الفريق الثانى أن القشرة الابتدائية للارض كانت مكونة من البازالت وأن الكتل الجرانيتية قد نشأت من تحول الطبقات الرسوبية . ويفترض هذا الفريق أن العملية تجرى كما يلى : أبان تنشأ الجبال ذات الطيات عند السطح بسبب تمزق القشرة الأرضية ، وتولد الاجهادات والحرارة الاحتكاكية عند المستويات العميقة ، فان الغازات الساخنة والمحاليل التى تحمل السيليكا والقلويات وغيرها من العناصر تنبعث الى السطح من الأجزاء العميقة من القشرة أو من الطبقات الواقعة تحتها . وهذه « الانبعاثات » تحول البازالت الى صخور أكثر توفرا بالسيليكا ، وتحول الطفل والاحجار الرملية الى صخور « الشست » و « النايس » و فى النهاية الى جرانيت .

وبما أن هذا الجدل دقيق الصلة بوجهة النظر الحديثة عن قشرة الأرض ، فلنناقش الادلة التى تؤيد أن الجرانيت نشأ عن عملية التجرنت . وأول دليل هو أنه اذا كان المواد الجرانيتية مجرد أجزاء من القشرة الابتدائية السيالية السائلة لكانت هذه المواد خليقة بأن تتواجد خارج مناطق الاحزمة الجبلية كما هو الحال فى البازالت وما يمت اليه من الحمم البركانية . غير أننا لا نعثر أبدا على الجرانيت خارج مثل هذه الاحزمة . ويفسر أصحاب المذهب التقليدى ذلك بأن المواد السيالية المنصهرة لزجة جدا بحيث لا تتحرك بسهولة مثل المواد المافية المنصهرة . والمنصهرات السيالية لزجة حقا ، ولكن اذا كانت اللزوجة هى التى

تمتعها من أن تتحرك متسل البازالت ، فلماذا ينجح الجرانيت فى التسرب الى الفجوات الشعرية الموجودة بالصخور الرسوبية ليحولها تحويلا كيميائيا ؟ ولا يمكن أن نجد وجها للمقارنة فى حالة البازالت الاقل لزوجة عندما يتخلل الطبقات الرسوبية ؟ فمن أبعد الاحتمالات أن تتسرب المواد الجرانيتية المنصهرة يحدوها شىء من العنف داخل طبقة أثر أخرى ، خلال طبقات شست الميكا الرقيقة (وهى ضرب نموذجى من الصخور المتحولة) . لكى تكسبها هذا التركيب المميز لها .

وفى حوزة المؤلف عينة من الصخر تبين أن عملية التبلوريمكن أن تنشأ عنها تلك العلاقات التركيبية المميزة والتى نجدها بين الجرانيت الدخيل والصخر الذى أقحم الجرانيت عليه ، وهو فى حالتنا هذه طفل متحول . وتحتوى عينة الصخر على رقائق جرانيتية تبدو كما لو كانت قد حقنت بين طبقات الطفل ، وسدود تخترقها متعامدة أو فى اتجاه الوتر . وتتصل الرقائق والسدود بالجسم الاصلى للمادة التى تبدوا أنها داخلية . غير أن دراسة المنطقة تبين بشكل قاطع أن عينة الصخر الموجودة لدى المؤلف لم تقحم عليهامادة ما أو تحقن بطريق العنف بمادة سائلة ـ وفى حقيقة الامر ، لم يكن هناك انصهار على الاطلاق ، فهذه المادة الخفيفة عبارة عن طفل تبلور تحت تأثير الحرارة التى استمدهامن طبقة من البازالت .

فى هذه العينة تتمثل عقدة مشكلتنا . وكما أن أحدا لايعترض على عملية التجرنت على نطاق ضيق ، غير أن معظم الجيولوجيين وقفوا حائرين عند تطبيق هذه العملية على الكتل الجرانيتيه

الكبيرة . ذلك بالرغم من أن جميع تفاصيل نموذجنا المصغر يمكن أن تتسق على أى نطاق تقريبا فى المناطق الجرانيتية النموذجية . ونحن مقيدون بالمدى الذى تجرى عليه العملية المطلوبة .

ومع كل فاننا نواجه حقيقة لا محيص عنها ، تلك هى أنه فى جميع الاحزمة الجبلية قد ظهرت ساحات جرانيتية مترامية الاطراف فى نفس المواقع التى اختفت فيها ساحات كبيرة من الطبقات الرسوبية ، وفى معظم الاماكن نجد أن نظام تركيبها يدل على أن ازاحة الرواسب بطريقة ميكانيكية أمر بعيد الاحتمال جدا ، ان لم يكن مستحيلا . وعلاوة على ذلك فان هذه الكتل الكبيرة من الجرانيت البديلة لا توجد الا فى هذه الأماكن من قشرة الأرض (أى الاحزمة الجبلية) حيث تمت تشكيلات ميكانيكية ضخمة هذه العمليات لابد أن تتولد عنها حرارة ، وأن تحدث فى الصخر ممرات تتسرب فيها « الانبعاثات » التى يعتقد أن لها دورا فى عملية التجرنت .

وهناك أخيرا تلك الحقيقة الغريبة ، وأعنى بها أن ما يزيد على نصف القشرة الأرضية ــ تحت البحار ــ ليس بها فى الظاهر طبقة جرانيتية سطحية . وعلينا نحن معشر الجيولوجيين مواجهة ايضاح سبب عدم وجود هذا الجزء الكبير من مادة تعودنا أن نعتبرها جزءا هاما من المواد التى كانت تكون القشرة الأرضية . ولقد بدأ كثير منا يعتقد أنه من الاجدر بنا أن نتساءل « لماذا يوجد الجرانيت بالقارات ؟ » بدلا من أن نسأل « لماذا لا يوجد الجرانيت فى قاع المحيطات ؟ » .

ويبدو للمؤلف أن هذا الجدل قد بلغ من الوجاهة حدا يحملنا

على أن نعيره اهتمامنا . ومع كل فعملية التجرنت على نطاق عالمى شامل لا تزال مجرد فكرة جـريئة . و « الانبعاثات » من تحت القشرة الارضية أمر غامض لم يحز بعد قبول التفكير الجيوكيميائى، ولا يقره بعض الثقاة فى علم الصخور . غير أن معلوماتنا عما يحدث للمواد تحت الضغوط وعند درجات الحرارة الشديدة الارتفـاع لا تزال فى دور البـدء ، والحقائق المتجـددة التى يكشف عنها الجيوفيزيائيون تجعل نظرياتنا عن المادة المجهـولة تحت القشرة فى تغير مستمر . ويبدو حاليا كما لو أن فكرة التجرنت تلائم اللغز المعقد لتركيب القشرة أكثر مما تلائمه النظرية التقليدية .

لقد ناقشنا التغيرات فى القشرة الأرضية التى تقع فى منطقـة الاجزمة الجبلية الحديثة . وتبين مساحات الطبقات الرسـوبية بالقارات بطريقة غير مباشرة أن ثمة تغيرات فى القشرة ، وما ينجم عن هذه التغيرات من تحركات فى هذه القشرة ، يحدث حتى خارج هذه الاحـزمة . وتتموج أسطح هذه المسـاحات من الطبقات الرسوبية فى القارات وتشاهد بها منخفضات غير منسقة تفصـل بينها مرتفعات معتدلة . وتتوسط النصف الشمالى للقارة الامريكية عدة منخفضات (مثل منخفضى ميتشيجان وايللينوى ــ كينتوكى) ويبلغ قطرها بضعة مئات الاميال ويبلغ عمقها ميلا أو ميلين (انظر الشكل (٧) . أما المرتفعات التى تفصلها فيعتبر «سينسيناتى آرك» خير مثال لها .

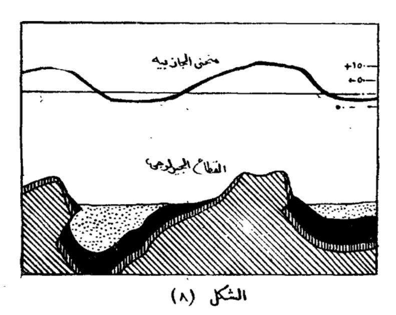
ونحن لم نول بعد أسباب هذا التموج الا القليل من اهتمامنا وكنا نميل الى أن نعزو ذلك الى الطبقات الرسوبية اذ كانت النظرية السائدة هى أن القشرة الأرضية أسفل القارات ضعيفة لدرجـة أنها تتداعى من جراء الاثقال المحلية ، وعلى هذا فان ثقل الرواسب

المتراكمة فوقها يجعلها تغور الى أسفل مكونة المنخفضات . غير أن البيانات العديدة التى حصلنا عليها بقياس الجاذبية فى الاعوام المنصرمة تدل دلالة قاطعة على أن القشرة المذكورة أقوى كثيرا مما كنا نفترض . ويسود التوازن الاستاتيكى بمعناه العام فقط فى المساحات المترامية الاطراف . فلو كانت القشرة ضعيفة لكان كثير من المنخفضات الصغيرة وخاصة منخفضا « بج هورن » و « بودر ريفر » بمنطقة روكى ماوتتن » أكثر ارتفاعا مما هى عليه الآن ، اذ أن وزنها خفيف نسبيا ، ولرأينا المناطق الجبلية المتاخمة أقل ارتفاعا اذ أن وزنها أكثر من اللازم . وفى هذه الحالات لابد أن تكون القشرة من القوة بحيث تتحمل الاجهادات المحلية الكبيرة . وهناك أدلة على أنه بالنسبة لاكبر منخفضات وسط القارة الامريكية ، لا يمكن أن نعزو وجودها الى الرواسب الموجودة بها . ولابد أن يكون هبوط سطح الأرض التى تتكون عنده المنخفضات ناشئا عن عمليات تقع عند الاعماق . والى أن نعرف ماهية هذه العمليات ، لا يمكننا أن نؤمل فى حل أكبر المشاكل جميعا ، ألا وهى كيف تكون قاع المحيطات .

ويقع سطح صخور ما قبل العصر الكمبرى فى المنخفضات الصغيرة من الطبقات الرسوبية فى القارات عند عمق يتراوح بين ميل وأربعة أميال تحت سطح البحر ، وتلك هى أعماق المحيطات. فهل يعنى هذا أن بعض أجزاء القاع الحديث للمحيط لا تعدو أن تكون أجزاء من قارات قديمة هبطت الى أسفل ؟ بهذا السؤال نعود الى تركيب القشرة الارضية تحت المحيطات .

على سواحل القارات الممتدة حول المحيطات الاطلنطى والهندى والمتجمد الشمالى والجنوبى وعلى بعض سواحل المحيط الهادى

تمتد المعالم التركيبية للقارات الى ما تحت البحر كما لو كان السطح حقا قد اعتراه انحناء أو انشطار . وتنتهى هذه المعالم انتهاء مفاجئا فى الخريطة الجيولوجية . وانك لتجد على الضفتين المتقابلتين للمحيط نفس الانواع او انواع متشابهة من الكائنات البحرية التى تعيش بالمياه الضحلة ، ومن الحيوانات والنباتات الارضية . مما يدل على ان هاتين الضفتين كانت تصلهما من قبل مياه ضحلة او ارض يابسة حيث يوجد الآن البحر العميق . وقد دعت مثل هذه المشاهدات كثيرين من الجيولوجيين فى القرن التاسع عشر الى أن يستنتجوا أن اجزاء كبيرة من القارات او قارات بأكملها قد هبطت خلال التاريخ الجيولوجى الى أعماق المحيط .



الشكل (٨)

تدل الشواذ فى الاتزان الاستاتيكى فوق منخفض « بج هورن » (الى اليسار) وجبال « بج هورن » (فى الوسط) على حدوث عمليات عند الأعماق ادت الى تعرج سطح صخر الأساس (المظلل بخطوط مائلة) . والشذوذ فى الاتزان الاستاتيكى هو الاختلاف عن القيمة المتوقعة للجاذبية (مقاسة بالمليجال عند القمة) بعد ادخال تصحيح تساوى ضغط القشرة عند عمق معين . ويبين منحنى الجاذبية أن المنخفضات أخف مما يجب وأن السلسلة الجبلية اثقل مما يجب .

وفى عام ١٨٤٦ افترض الجيولوجى الامريكى جيمس د. دانا (James D. Dana) لأول مرة عكس هذا الرأى : ذلك أن القارات قد ظلت شامخة منذ فجر التاريخ الجيولوجى . اعتقد دانا

أن القارت كانت جزءا من القشرة التى تجمــدت فى وقت مبكر ، ومن ثم كانت أكبر ســمكا ، وعنــدما تقلصت الأرض لم تغص القارات الا قليلا ، بينما تكونت المحيطات فى الاجزاء التى كانت قشرتها أقل سمكا . وفيما بعد ، حين أصبح معلوما أن البازالت هو الصخر الغالب فى جزر المحيطات ، بينما يغلب وجود الجرانيت فى القارات والجزر القريبة منها ، توصل كثير من الجيولوجيين الى نفس استنتاج دانا ، غير أنهم بنوا استنتاجهم على أسباب تختلف عن تلك التى استند اليها دانا . ولما كانت أجزاء القشرة تبدو فى توازن تثاقلى ، فقد اعتقدوا أن قاع المحيط منخفض لأنه يتكون من صخور ثقيلة ، بينما ترتفع القارات لانها تتكون من صخور خفيفة ، ومتى تكونت القارة ظلت على الدوام قارة كما هى . غير أن هذا يدعنا أمام عالم من الحقائق المفتقرة الى تفســير ، وهى حقائق قادت آخرين الى عكس هذه الاستنتاجات .

منذ ٤٠ عاما وضع أستاذ الفيزياء الارضية الالمانى . الفريد فيجنار » (Alfred Wegener) نظريته الخارقة عن ازاحة القارات . فقد افترض فى بساطة ، متجاهلا كل الأدلة الفيزيائيةوالجيولوجية الممكنة ، أن البازالت فى قاع المحيطات من الضعف بحيث لا يستطيع مقاومة التشكل بفعل القوى مهما تناهت فى صغرها . ولهــذا يتسنى للكتل الجرانيتية بالقارات أن تزاح وهى عائمة فى بازالت قاع المحيط كأزاحة قطع الثلج فى المــاء . وفى رأى «فيجنار » أن البحر يفصل بين كتل كبيرة من اليابسة كانت متصلة من قبل ، وأن البازالت الصلب الموجود الآن بقاع البحر كان يطفو من قبل فى غير مرونة فى الحيز الذى يشغله الآن . وقد أطلق « فيجنــار » العنان للخيــال فى كتابه الذى يعتبر آية فى الحجــة والاقناع :

وبضربة واحدة جريئة يبدو أن « فيجنار » وجد حلا لعـدد من المشاكل المبهمة فى جيولوجية العالم . وقد كانت لاعمال فيجنار آثارها فى أن تقرب الى أذهان كل من يعنيهم الأمر مبلغ حاجتهم الى الجـديد والدقيق من المعلومات عن الخـواص الفيزيائيـة للصخور ؛ وطبوغرافية قاع المحيط وتركيب طبقاته . وقد بدأنا نحصل على بعض المعلومات البالغة الاهمية عن جيولوجيـة قاع المحيط وذلك بفضل الاعمال التى تجريها نخبة قليلة من جهابذة الباحثين الاكفاء ؛ فى مقدمتهم « ف . أ . فيننج ماينز » الهولندى و « موريس ايوينج » من جامعة كاليفورنيا .

وفى الاعوام الاخيرة قبيل الحرب العالمية الثانية ، عنى «ايوينج» بتحديد كيفية اتصال القشرة الجرانيتيـة فى القـارة الامريكية الشمالية بقاع البحر العميق على امتداد الحـدود الغربية لشمال حوض الاطلنطى . فعند الساحل الاطلنطى للولايات المتحدة ينحدر قاع البحر فى أول الأمر انحدارا بطيئا جـدا مكونا رفا قاريا (Continental Shelf) يصل عمقه عند حافته الخارجية الى حوالى ٣٦٠ قدما تحت سطح البحر، وعلى بعد يتراوح بين ٦٠ ، ٨٠ ميلا من «نيوجيرسى» و «ماريلاند» . وبعد الحافة ينحدر القاع انحدارا كبيرا نسبيا (بمعدل حوالى ٤٠٠ قدم لكل ميل) نحو أعمـاق البحر مكونا المنحدر القارى .

سؤالان واجههما ايوينج : (١) ما الذى أقام الرف القارى ؟ (٢) الى أى شىء تؤول القاعدة المتبلورة السيالية (الجرانيتية) عندما يتجه المرء نحو أعماق المحيط ؟ افترض «فيجنار» أن القشرة الجرانيتية القارية تنتهى عند الحافة الخارجية للرف ، وهى الحد الفاصل الذى عنده انتزعت من القارة الاوروبية . واذا كان هذا

صحيحا فلا بد أن القشرة تحت الرف تتكون من صخور الاساس. وتغطى هذه الصخور قشرة رقيقة من الرواسب الحديثة ، وينتهى هذا التركيب نهاية مقتضبة .

وللاجابة على هـذا السؤال المزدوج ، استخدم « ايوينج » الطريقة السيسمولوجية للرصد تحت البحر بعد أن أدخل عليها كثيرا من الافكار الفذة فى حد ذاتها قصة مثيرة . وقد بين «ايوينج» أن القاعدة الجرانيتية لا تنتهى عنـد الرف القارى ، بل تستمر منحدرة الى أعماق تناهز الميلين تحت سطح البحر . كان هـذا اكتشافا ذا أهمية بالغة اذ يبين أن الصخور البلورية الكائنة عند حافة القارة ، لها نفس صفات الصخور القديمة بالدرع القارى ، وأنها تنحدر مكونة حوض البحر بنفس الوقت التى ينحدر بها الدرع القارى مكونا منخفض ميتشيجان الذى يتوغل الى مسافة ٧٠٠ ميـل وسط القارة . وتغطى الرواسب القاعدة المنحـدرة لشمال الاطلنطى كما هو الحال فى منخفض ميتشيجان . وهـذه الرواسب امتداد للتركيب المشاهد فى السهل الساحلى . ويثبت هذا الكشف أن أجزاء من البحر العميق ربما كانت من القشرة القارية ثم هبطت الى مستو منخفض وظلت حيث هى . والمفروض أن هذا قد تم بواسطة نفس العمليات المجهولة التى تكونت بها المنخفضات داخل القارات .

كم جزءا من قاع المحيط الاطلنطى له مثل هذا التاريخ ؟ لعل خـير ما نجيب عليه فى وقتنا هذا هو أن جـزءا صغيرا فقط من « الحوض الامريكى الشمالى » للمحيط الاطلنطى يحتمـل أن يتوسد النوع القارى من المادة القشرية . ويتعارض هذا الرأى مع

المعتقدات السائدة. فسرعة انتقال أمواج الزلازل عبر قاع المحيطات توحي بأن كل قاعات المحيطات ، فيما عدا الجزء الاوسط من المحيط الهادى ، تغطيه طبقة من الجرانيت لا يعدو سمكها ستة أميال . بيد أن « ايوينج » ومساعديه استنبطوا نظرية جديدة لانتقال الموجات السطحية للزلازل على طول قاع المحيط ، وهذه النظرية ولو أنها لا تستلزم نفى وجود المادة القشرية « القارية » فوق قاع المحيط الاطلنطى الشمالى ، الا أنها تعتبر وجودها امرا غير لازم وقد أثبتت الأرصاد السيسمولوجية المباشرة لانكسار الموجات والتى أجراها ايوينج مؤخرا عند أكثر من اثنى عشر موضعا فى المحيط الاطلنطى الشمالى أن السرعات المشاهدة هى السرعات التى تتميز بها الصخور البازالتية .وعلاوة على ذلك فقد أدت قياسات الجاذبية التى أجراها « فينىج ماينيز » عبر شمال الاطلنطى الى نفس النتائج : وتدل تلك القياسات على وجود شواذ موجبة تثبت عدم وجود مادة جرانيتية خفيفة .

ومن هذه الاعتبارات يبدو ممكنا أن القشرة الكائنة تحت شمال الاطلنطى وتحت أجزاء كبيرة من المحيطات الأخرى تتكون كلية من البازالت دون أى مادة سيالية . ومما يذكر أن «فيجنار» بنى نظريته عن ازاحة القارات مفترضا صحة هذه الحالة . ولكن ما هى خصائص هذا البازالت ؟ فالبازالت ، طبقا لنظرية «ڤيجنار» لا بد أن يكون ضعيفا بحيث يتداعى أمام الضغوط الصغيرة جدا. وهذا يعنى أن البازالت لا بد أن يتكون أساسا على شكل مسطح : فهو لا يقوى على تحمل وزن التلال والجبال . فما هى الحقائق التى لدينا ؟

فى صيف عام ١٩٤٧ بدأ « أيوينج » فى اعداد خريطة منظمة

لطبوغرافية قاع شمال الاطلنطى مستخدما أجهزة صوتية حديثة ، يستقبل بها صدى الصوت فى باخرة الابحاث «اتلانتس» . وماكنا نعلمه من قبل بوجه عام يدعمه هذا البحث بنوع من التفصيل الدقيق : ذلك أن سطح قاع البحر هو على العكس تماما مماتتطلبه نظرية « ڤيجنار . فقاع المحيط ذو طبوغرافية وعرة . فمن السطح المنبسط لحوض أمريكا الشمالية عند قاع الاطلنطى الذى يزيد عمقه على خمسة أميال تحت سطح البحر ، ترتفع جبال عالية (جبال بحرية) يصل ارتفاعها فى بعض الحالات الى أكثر من ٦٠٠٠ قدم . وكثير من هذه الجبال الواقعة تحت سطح البحر ذات قمم مدببة ، بينما تستوى قمم بعض الجبال الأخرى . وفى المنطقة الواقعة بين ايسلاند جنوبا ، والمحيط المتجمد الشمالى ، يمتد تحت البحر حزام من الجبال المعقدة تعرف باسم « جرف الاطلنطى الاوسط » ، والجزء الاوسط من هذا الجرف على شكل ربوة وعرة يتراوح عرضها بين ٦٠ ميلا ، ٢٠٠ ميل ، ولها قمم ترتفع الى أقل من ميل واحد تحت سطح البحر . وعلى جانبى هذه الربوة يمتد طرفا الجرف فى أسطح مائلة تتوسدها طبقة سميكة من الرواسب غير المتماسكة توحى بوجود فوالق بين كتلها المائية . وقد استخرج ايوينج كتلا بازالتية كبيرة من سفح مرتفع بحرى شديد الانحدار ، لا يعدو أن يكون سطح انفلاق — وهناك من المعالم الأخرى فى الاطلنطى الشمالى ما يوحى بأنها ناتجة عن تصدع . ومن المحتمل أن حافة الرف القارى قد نشأت عن منطقة تصدع هبط أزاءها الى مستوى قاع البحر العميق النصف الثانى من حوض الترسيب الذى افترضه ايوينج فى قطاعاته المستعرضة.

وتلك الصورة كبيرة الشبه بما يتميز به قاع المنطقة المتوسطة

الكبرى بالمحيط الهادى ، الذى يبدو أنهاتتكون كلية من البازلت وما اليه من الصخور . فقد عثر هناك على كثير من الجبال ذات القمم المستوية . وجزر هاواى ليست الا قمما لسلسلة بازالتية كبيرة تتصاعد الى ما فوق مستوى سطح البحر من قاع المحيط الذى يزيد عمقه على ثلاثة أميال .ونوحى طبوغرافية قاع البحر المحيط بالمنطقة بأن قوى المرونة بالقشرة هى التى تتحمل ثقل سلسلة الجبال البحرية ، وهى حالة تشبه الى حد ما حالة الوزن الذى تتحمله طبقة من الجليد تغطى جسما من الماء . وتلك القابلية على تحمل الاثقال الكبيرة المحلية تدل على وجود قشرة سميكة قوية ــ وذلك بعكس الشروط التى يتطلبها « ڤيجنار » .

وموجز القول هو أن كل ما نعلمه الآن عن شكل قاع المحيط وتركيبه يثبت اثباتا جازما أن نظرية « ڤيجنار » عن ازاحة القارات قد تداعت من أساسها . كما يوحى أيضا بأن « دانا » لم يجانبه الصواب حين أعلن أن القارات تكونت فى الاجــزاء الغليظة من القشرة . والواقع أن القشرةتحت القاراتتبدو أقل سمكاوأضعف منها تحت البحار .

وتعتبر القشرة تحت المحيطات جزءا من الأرض الصلبة فهى بمثابة « الدرع » ، حكمها فى ذلك حكم القشرة الكائنة أسفل القارات ان لم تكن أقرب الى هذا الفرض . واذا كانت هذه هى الحال ، فان العمليات التى تجرى بالقشرة فى الجزء القارى ، لابد أن تكون جارية أيضا بالقشرة البحرية . ثم هل يمكننا فى ضوء هذه العمليات أن نفسر التباين بين مستوى سطح الأرض ؟ ان المؤلف يعتقد أن ذلك فى الامكان . ولنبدأ بالنوعين الرئيسيين من

التشكل الموجود بالقارات اذ نجدهما أيضا فى قاع المحيطات . وأحد هذين النوعين هو تعاقب المنخفضات والمرتفعات . ويتميز قاع الاطلنطى بتموج سطحه . فنجد « المنخفض ــ و المرتفع » الذى تتسم به ، من ناحية المبدأ ، الهضبة الرسوبية فى منتصف القارة الامريكية الشمالية ، غير أن هذا التموج يتمثل على نطاق أضخم فى قاع المحيط . والنوع الآخر من التشكل هو ذلك الذى تنشأ عنه سلاسل الجبال ذات الطيات . وأكبر ما تطورت اليه هذه العملية على وجه الأرض يتمثل فيما نجده على طول ساحل المحيط الهادى ، وعند قاع النصف الغربى من المحيط نفسه ، فهناك تتكون السلاسل الكبيرة لجزر المحيط الهادى من قمم الجبال الواقعة تحت الماء .وتتميز هذه السلاسل من الجبال البحرية بأنها طويلة وضيقة وغير متناسقة ، وتحاذيها عن قرب أخاديد عميقة ضيقة تقع على جانبها الاكثر انحدارا. ويرى هذا النوع من التشكل بوضوح فى سلاسل الجزر بالجانبين الشمالى والغربى للمحيط الهادى وفى الكورديلليرات الكبيرة بأمريكا الوسطى والجنوبية ، مصحوبة بالاخاديد المتباعدة عن الشاطىء والواقعة بأعماق المحيط . وتعتبر الاحزمة الجبلية التى تحيط بالمحيط الهادى مهدا لاكثر من ٤٠ ٪ من الزلازل الارضية القريبة من السطح ، وحوالى ٩٠ ٪ من الزلازل التى صدرت من أعماق متوسطة ، وجميع الزلازل الصادرة من أعماق كبيرة . ومن ثم فان عملية تكوين الجبال تجرى هنا الآن بنشاط على نطاق واسع . (انظر الجزء التالى عن « أخاديد المحيط الهادى ») .

وخير مثال لتلك المرتفعات الفعالة الحديثة ربما يكون الحزام الجبلى الجبار الممتد تحت البحر من اليابان فى الشمال عبر

« البونيز » و « ماريانا » ثم الى « بالو » فى الجنوب ، وهى منطقة تضارع الهيمالايا طولا وارتفاعا . وتعرف بعض قمم هذه المنطقة بأسماء جزر « أيوجيما » ، و « سايبان » ، و « جوام » ، و « ياب » . ونجد فى هذه المنطقة نفس المنظر غير المتناسق ، ونفس الاخاديد الواقعة بأعماق المحيط على طول جانب المنطقة الشديد الانحدار ، ونفس سلسلة البراكين بالجانب الخلفى الاقل أنحدارا فهى تمثل أنشط المرتفعات المشرفة على المحيط الهادى من القارات المحيطة به . غير أن تلك المنطقة تختلف فى أمرين هامين : (١) فهى ترتفع على انفراد فوق قاع المحيط العميق . (٢) والصخور المتحولة الوحيدة التى أمكن العثور عليها فى الكتلة الصخرية هى صخور مشتقة من البازالت أو من أنواع أخرى من الصخور البحرية الغنية بالحديد والمغنسيوم أكثر من البازالت نفسه . ويبدو أنه لاوجود للأنواع الأخرى من الصخور المتحولة التى تتميز بها القارات (وهى تلك الصخور المشتقة من الطبقات الرسوبية العادية ، مثل الطفل والحجر الرملى) . فهنا اذن منطقة جبلية حديثة يبدو أنها نشأت نتيجة لتشكل قاع المحيط ، وهى تضارع فى ضخامتها أى منطقة جبلية أخرى على اليابسة .

لنفترض أن المحيط غير موجود وأننا نقف فوق القاع المنخفض للمحيط الهادى متجهين بأنظارنا غربا نحو هذه المنطقة الجبلية المتشامخة . فمن ورائها غربا يقع سهل بحرى يمتد الى أكثر من ٦٠٠ ميل . وعند الطرف الاقصى من هذا السهل ترتفع بنفس الطريقة تماما سلسلة الجبال الضخمة التى تؤلف جزر الفيليبين ،

ومن خلفها تبرز حافة القارة الاسيوية نفسها ، مغطاة برواسب حديثة . وقد يبدو غير ذي موضوع بعدهذا التصوير ، أن يتساءل الانسان : « كيف تسنى لاحواض المحيطات أن تتكون ؟ » ، وقد يكون من الاوفق أن يستعيض عنه بالاستفسار « كيف تسنى للقارات أن تقوم فى مقامها ؟ » .

من وجهة النظر هذه ، يصبح التعبير « حوض البحر » غير ذى معنى ، ويمكننا الآن أن ننظر الى القارات بوضوح على أنها أحزمة تشكيلية اعترت سطح الأرض وتكونت على فترات خلال الازمنة الجيولوجية ، واتصلت بعضها بالبعض الآخر بطرق شتى وتكون المساحات البحرية ، من الناحية الاخرى ، هى الجزء من سطح الأرض الذى لم يطرأ عليه تغيير . وتلك المساحات تغطيها القشرة البازالتيـة الأولية ، تعلوها هنا وهناك طبقـة رقيقة من الرواسب المختلفة .

يختلف هذا الاستدلال كثيرا عن النظريات الجارية . والغرض من ذكره هو أن نبرز الاتجاهات الفكرية الجديدة الممكنة ، وأن نقترح أماكن محددة يمكن أن تكون حقلا لاختبار هذه الافكار اختبارا منظما يتولاه الجيوفيزيائيون والجيولوجيون .

وأحد هذه الاماكن المحددة هو حزام الجبال ذات الطبات — « بونينز — مارياناس — بالاو » وبالرغم من أن عشرات الآلاف من الاميال المربعة من القشرة تقع غرب هذه المنطقة عند مستوى قاع البحر العميق ، فان الرأى السائد الآن هو أن تلك المنطقة تحدد موقع الحافة الخارجية الشرقية للنوع «القارى» من القشرة المنتمى الى الجرانيت فى نصف الكرة الباسيفيكى واستخلص هذا

الاستنتاج من الدراسات التى أجريت على الانواع الشائعة من الحمم البركانية التى تدفقت من البراكين العديدة بحزام الجـزر . فالصـخور المتكونة من هـذه الحمم ، هى المعروفـة باسم « الانديسايت » ، وتختلف فى تركيبها المعـدنى عن أى نوع من الصخور التى يمكن اشتقاقها من بازالت المحيط الهادى . وتتميز هذه الصخور بارتفاع نسبة السيليكا بها . والرأى السـائد فى تفسير ارتفاع نسبة السيليكا بتلك الصخور واحتوائها على بعض المواد اللابازالتية ، هو أن صخور الانديسايت هذه قد نشـأت عن اختلاط الحمم البركانية البازالتية بالمادة الجرانيتية الموجودة فى الجرانيت الابتدائى التى يفترض أنها تغطى سطح القشرة حيث توجد الانديسايات . وهناك نفس النوع من الاسـتدلال الذى يزعم بوجود طبقة من الجرانيت الابتدائى ويفسر وجود الأجسام الجرانيتية بالرواسب المتحولة فى الاحزمة الجبلية القارية .

بيد أننا رأينا هذا التفسير يقابله تفسير آخر لوجود الاجسام الجرانيتية فى الرواسب القارية ــ وهذا التفسير هو تحـول أو تجرنت الرواسب بسبب انبعاث السيليكا وغـيرها من العناصر من المستويات العميقة . ومن الممكن أن نعزو تكون الانديسايت الى نفس النوع من النشاط ، أى أن ما يسمى آ بتلوث » مصدر المادة البازالتية قد يعود الى أن السيليكا وغيرها من العناصر قد تدخل على التركيب بنفس الطريقة ولنفس الأسباب كما تفعـل فى عملية التجرنت . وعلى هذا فان حمم الانديسايت البركانية فى المحيط الهادى قد لا تكون صورة أستاتيكية لمخلفات المـاضى فحسب ، ولكنها تمثل جبهة ديناميكية تجرى فيها بنشاط صياغة القشرة البازالتية القديمة فى قوالب أطناف جبلية حديثة .

وعلى هذا فان غرب المحيط الهادى يجتاز طورا صالحا لاختبار ثمار تطور القشرة اختبارا دقيقا . ويجب أن تجرى عملية مسح المنطقة للحصول على صورة مناسبة لطبوغرافيــة قاع المحيط . ويجب اجراء أرصاد سيسمولوجية ومغناطيسية وتثاقلية من أسطح السفن ومن الغواصات للكشف عن طبيعة القشرة فى المناطق الجبلية الواقعة تحت الماء وعلى جانبى هذه المناطق ، ويجب أخذ عينات الصخور من المنحدرات العميقة الواقعــة تحت الماء . ولابد من دراسة تركيب الجزر وصخورها دراسة وافية ، كما يجب تحليل الخواص الفيزيائية والكيميائية للعناصر الملائمة فى حالتها الغازية والمنصهرة والذائبة .

مما تقدم نرى أن معلوماتنا عن تركيب القشرة الواقعة تحت القارات لا تزال محدودة ، وهى أكثر ضآلة بالنسبة للقشرة تحت البحر . فكل آرائنا قد بنيت ، بحكم الضرورة ، على بيانات غير وافية لا يمكن الركون اليها . وهى لا تخرج عن كونها نظـريات اجتهادية تفتقــر الى الاختبار . ومع كل فلابد أن تكون لدينــا نظريات لنختبرها ، ويجب أن نوالى السعى لنربط بينها فى صورة منسقة عامة تبين الصلة بين جزيئاتها وبين مجموعها .

وفيما يلى نجمل الصورة التى يمكن أن نستخلصها عن قشرة الأرض من الأرصاد والأفكار الواردة بهذا الجزء من الكتاب :

ان الطبيعة المعقدة للقشرة الأرضية تحت القارات ناتجــة من الطيات الكبرى التى تعترى القشرة ، ونعنى بها تكوين المرتفعات والمنخفضات التى امتلأت بالرواسب . وقد نشأت جذور الجبال من المنخفضات الممتلئة بالرواسب نتيجة للضغوط الواقعة على هذه الاحزمــة ، والتى تولد عنها أيضا نشــاط العمليات الفيزيائيــة والكيميائة التى أحالت جزءا من الرواسب الى صخور متحولة ،

وفى النهاية الى جرانيت . والفكرة التى توحى بأن صخور القشرة الأرضية تتواجد فى طبقاتأفقية ، ليست الامحض ادراك احصائى لا يمثل حقيقة الطبيعة المعقدة لتركيب القشرة .

أما الدروع وامتداداتها تحت الهضاب الرسوبية فى القارات فهى عبارة عن الاجـزاء التى خلفتها عوامل التعـرية من المناطق الجبلية ذات الطيات القـديمة ، وعلى هـذا فان مستواها مقترن بمستوى البحر . ويدل وجـودها على أن موقع مستوى سطح البحر بالنسبة لليابسة لم يتغير تغيرا جوهريامنذ العصر الكمبرى. وقد تعرجت أجزاء من السطح القارى القـديم الذى يرجع الى ما قبل العصر الكمبرى ، مكونة مرتفعاتومنخفضات ، وقد هبط القاع فى بعض هذه المنخفضات الى أعماق تناهز أعماقالمحيطات .

وقد جلبت عملية تكوين الأحواض بعض القطاعات الجرانيتية القارية الى أعماق المحيط ، وذلك فى المناطق الواقعة بين المساحات القارية والبحـرية النموذجية . ومن الناحية الاخرى ، نجـد أن تشكيل القشرة قد تتجت عنه أحزمة من مناطق الجبالذات الطيات سواء من القشرة البازالتية الواقعة تحت قاع البحار أو الميتويات . القارية . والعمليات التى يرجع اليها وجود القارات لا تزال دائبة النشاط على حدود المحيط الهادى وفى داخل الجزء الغـربى من المحيط .

هذه الخلاصة العامة ليست الا الاطار الذى يجب أن ننسق فيه ما نعلمه من الحقائق عن تركيبالقشرة . فهىتحدد الغرض من بعض الأسئلة الهامة التى تفتقر الى الجواب ، كما تبين الامكانيات المثيرة للعمل فى احدى الجبهات الكبرى للعلوم الحديثة ، وأعنى بها جيولوجية الأجزاء العميقة من القشرة الأرضية .

أخاديد المحيط الهادى

بقـــلم

روبرت ل. فيشر وروجر ريفيل

فى ٢٨ أبريل سنة ١٨٧٩ بينما كانت السفينة الملكية «باونتى» تعبر المحيط الهـــادى ، نشب نزاع له ذكراه بين قبطان السفينـــة اليـــوزباشى ويليام بلاى William Bligh والضابط الاول فليتشر كريستيان Fletcher Christian ، وعلى أثر هذا النزاع انفضت صحبتهما واتخذ كل منهما سبيله فى اتجاهين متضادين فى البحر ، فظل كريستيان على ظهر السفينة « باونتى » ، بينما استقل « بلاى » قارب القبطان . وقد وقع هذا العصيان التاريخى بالقرب من بركان « توفوا » الكبير بجزر « فريندلى » المعـــروفة الآن باسم جزر « تونجا » ، والواقعة بجنوب غرب المحيط الهادي . كان « بلاى » و « كريستيان » خبيرين بمعالم هـــذه المنطقة من المحيط وكانا يعلمان أن طبوغرافية أعماقها المحيطة بهذه الجـــزر ليست عادية ، اذ أنها تغص بالمواقع الضحلة الخطرة والممرات الضيقة التى تفصـــل بين الجزر . الا أنه نظرا لأن الأساليب الصـــوتية

لدراســة أعماق البحار لم تكن قد اخترعت بعد ، فان هــذين الملاحين لم يكونا على علم بمدى غرابة هذه المنطقة ، وبأنها سوف تؤدى يوما ما الى واحد من أهم المكتشفات فى تاريخ دراســة البحــار .

فمن تحت صفحة البحار الساكنة شرق جــزر « تونجا » ، تنفرج فى القاع هوة مروعة يناهز عمقها سبعة أميال . وبعد مائة عام من حادثة السفينة « باونتى » قامت سفينة بريطانية أخــرى باختبار أعماق هذه المنطقة . وفى أثناء عمليــة مسح قاع المحيط حول هذه الجزر ، استرعى انتباه « بلهام أولد رتش » Pelham Aldrich . قبطان السفينة الملكية « أيجيريا » أنه فى محاولتين متتاليتين لم يلمس ثقل المطمار قاع المحيط الا بعد أن تدلى خيط طوله ٢٤ ألف قدم . وقد دفع اكتشـــاف « أولد رتش » بلادا أخر ىالى ارسال فرق أبحاث لدراسة هوة « تونجا » الواقعــة تحت البحر. وأخيرا تمكن الدارسون لهذه المنطقة من تتبع أخدود كبير يمتد حوالى ١٠٠٠ ميل من جزر « تونجا » غربا الى جــزر « كيرماديك » وأكبر عمق أمكن العثــور عليه حديثا بالطــرق الصــوتية هو ٣٥٠٠٠ قدم ، وقد عثرت عليــه باخرة الأبحــاث « هورايزون » التابعة لمعهد «سكريبس» لعلوم البحار . وتتوغل هذه الهوة تحت سطح البحــر الى عمق يزيد عن ارتفاع جبــال الهيمالايا بمقدار ٦٠٠٠ قدم .

وأخدود « تونجا ــ كيرماديك » ليس الا حلقة واحدة من سلسلة مترامية الأطراف من الأخاديد العميقة الضيقة التى تمتــد شبيهة بالخنادق المائية حول الحــوض المركزى للمحيط الهادى .

وهى جميعا تمتد موازية لأرخبيل (أى مجموعة الجزر) وسلاسل الجبال الواقعة على سواحل القارات . وتبلغ المسافة بين قمة جبال «الأنديز» الممتدة على ساحل أمريكا الجنوبية وبين قاع الأخدود المواجه للشاطىء أكثر من ٤٠٫٠٠٠ قدم . ولا يقل طول هذه الأخاديد أهمية عن عمقها ، وقد يصل طول بعضها الى ٢٠٠٠ ميل .

ولا تمت تلك الأخاديد بشبه الى أى من المعالم التى نألفها على اليابسة ، ولهذا فانه من المتعذر علينا ، نحن سكان اليابسة ، أن نجلو حقيقتها . وقد يتعذر على الانسان أن يتخيل هذه الهوة السحيقة على أنها من العمق بحيث تستوعب أكثر من سبع أمثال أعمق وديان اليابسة مجتمعة بعضها فوق بعض ، ومن الطول بحيث تصل بين مدينتى « نيويورك » و « كانساس » . تلك هى مقاييس أخدود « تونجا ــ كيرماديك » .

وحجم أخاديد المحيط الهادئ وشكلها الغريب أمران يستثيران الدهشة . فبأى قوى عاتية نشأت مثل هذه التشكيلات فى قاع البحر ؟ ولم نشأت تلك الأخاديد بهذا الطول والعمق والضيق ؟ وماذا آلت اليه المواد التى أزيحت من جراء تكوينها على هذا النمط ؟ وهل هى قديمة العهد أم حديثة التكوين ؟ وما أهمية الحقيقة التى تستند الى وقوعها على امتداد « دائرة نار » المحيط الهادى وأعنى بها منطقة البراكين النشطة والزلازل العنيفة التى تحيط بالمحيط المترامى الأطراف ؟

بالرغم من أن هذه الاخاديد لم تدرس بعد الادراسة تخطيطية ، فان ما حصلنا عليه من معلومات حتى الآن يمكن أن يهدينا الى اجابات ، ما زالت عرضة للجدل والمناقشة ، عن بعض هذه الاسئلة.

ويمكننا أن تتخـذ من أخـدود « تونجا ــ كيرماديك » مثـالا نموذجيا .

يمتد الأخدود من الشمال الى الجنوب فى خط مستقيم تقريبا يقع شرق أرخبيـل « تونجا وكيرماديك » وينعقف قليـلا عند طرفه الشمالى . ويبدأ الأخدود من هذا الطرف منخفضا انخفاضا يسيرا على شكل ملعقة ، ويتخذ إتجاه الجنوب الشرقى بين « تونجا » و « ساموا » ، ثم ينحنى مع ازدياد عمقه ويتجه جنوبا نحوا من ١٢٠٠ ميل ، وأخيرا يصبح ضحلا ثم يختفى عند نقطة تقع شمال نيويوزيلاند . والأخدود ضيق جدا عند أعمق أجزائه الوسطى ، ولا يتجاوز عرضه عند هذه الأجزاء خمسة أميال . وتتخذ الهوة شكل الرقم ٧ ، غير أن ذراع هذا الرقم القريب من الجزيرة أشد انحدارا من الذراع المواجه للبحر . ففى الجدار الغربى المواجه لليابسة يتراوح الانحدار بين ١٦ ، ٣٠ ٪ . أى أنه يصل فى بعض الأماكن الى أكثر من ٢٤ ٪ وهو متوسط انحدار جوانب أخدود اليابسة العظيم عند « برايت انجل » ويتكون الأخدود فى القطاع الطولى من منخفضات عميقة تفصل بينها تنوءات بارزة ، ويبدو الأخدود على شكل حبات الخرز المنظومة فى خيط .

وتبدو الجزر الواقعة عند الحافة الغربيـة للأخدود جزءا من التركيب القشرى ــ وتقع تلك الجزر فى صـفين على ربوة يبلغ طولها ١٠٠٠ ميل ، وتقع عند قمة المنحدر الغربى للأخدود . وجزر مملكة البولينيز بتونجا مغطاة بطبقة من الحجر الجيرى المترسب فى المياه الضحلة خلال الحقبة الأخيرة من العصور الجيولوجية .

وترتكز تلك الجـزر على أرفف مرجانية عريضـة تقع تحت

سطح الماء على عمق يتراوح بين ١٨٠ ، ٣٦٠ قدما ؛ وترتفع على شكل سلسلة من المسطحات الى بضع مئات الأقدام فوق سطح البحر . وغرب الجزر المكونة صخورها من الحجر الجيرى يقع منخفض ضحل ، تليه سلسلة من البراكين الواقعة تحت الماء والجزر البركانية المرتفعة . وتلك البراكين أقرب الى النوع الثائر منها الى براكين « هاواى » الهادئة . ويعزى اليها وجود كميات ضخمة من الرماد الذى يغطى قاع البحر المحيط بها؟ . وفى خلال المائة عام الأخيرة ثارت خمس من تلك البراكين ، مما اضطر حكومة «تونجا» الى اخلاء تلك الجزر من السكان تجنبا لأخطار ما قد يستجد من الانفجارات .

وتوجد تحت سطح الماء أيضا براكين نشطة ، من بينها «حافة فالكون » وهى ترتفع ، أثناء ثورة بركانها الى بضع مئات من الأقدام فوق سطح البحر . والواقع أنها تدعى عادة « جزيرة فالكون » . وعقب كل ثورة تعمل الأمواج على تعرية الجزيرة من الحمم البركانية ، فلا تمضى سنوات قليلة حتى يكون سطح الجزيرة قد هبط ثانية الى مستوى سطح البحر .

وقاع الأخدود « تونجا ــ كيرماديك » صخرى ، ويبدو عاريا تقريبا من الرواسب . وفى أثناء قيام بعثة « كابريكون » التابعة لمعهد « سكريبس » بدراستها عام ١٩٥٢ ــ ١٩٥٣ طرأ خلل فى الآلة الرافعة واضطرت البعثة الى سحب جهاز أخذ العينات وما تصحبه من ثقل كبير من الرصاص فوق قاع البحر بضعة ساعات قبل أن تتمكن من انتشاله ، وقد أخرج الجهاز وهو محطم تماما من أثر احتكاكه بالصخور الموجودة بقاع المحيط . أما الماسك

انصلب الثقيل الذى يسبق الجهاز فقد وجد منحنياً من شدة ما أصابه من صدمات . كما بدا الثقل الرصاصى كما لو كان قد طرق بمطرقة وأزميل . وقد وجدت شظايا صغيرة من الصخر البركانى دفينة فى الرصاص .

وقد اكتشف عند المنحدر الشرقى للأخدود مخروط بركانى وحيد يرتفع فى انحدار قليل الى مسافة ٢٧٠٠٠ قدم، حتى تصل قمته الى ما يقرب من ١٢٠٠ قدم تحت سطح البحر . وأسفل قمة هذا المخروط مباشرة توجد منطقة مستوية عريضة تميل نحو الغرب . وهذا المخروط الذى يعتبر واحدا من أكثر جبال الأرض ارتفاعا ، قد يؤدى المزيد من دراسته الى كشف ما نجهله من تاريخ الأخدود . ويكاد يكون من المؤكد أن المنطقة المستوية قداقتطعتها الأمواج وقت أن كان الجزء الأعلى من القمة واقعا فوق مستوى سطح البحر . واذا استطعنا أن نحصل على حفريات المياه الضحلة عند قمة المخروط ، لأمكننا تحديد الفترة التى غمرت فيها المياه قمة المخروط ، وربما أمكننا أن نعرف متى بدأ ميل المنطقة المستوية ومن ثم ربما تيسر لنا أن نعرف ميل قاع الأخدود الى أسفل .

ويعتبر أخدود «تونجا» ، كما ذكرنا ، حالة نموذجية لأخاديد المحيط الهادى . ومن بين عمالقة الأخاديد الأخرى أخاديد « الأليوشان» و « كوريل » و« اليابان» و « ماريانا و«الفيليبين» و «جاوة » ، وهى تقع على الجانبين الشمالى والغربى للمحيط ، وأخدودا « الكابولكو » و « بيرو ــ شيلى » الواقعان بالجانب الشرقى للمحيط . ومما هو جدير بالملاحظة ، وقد تكون له دلالة معينة ، أن الأخاديد تكاد جميعا تتساوى فى الحد الأقصى الذى

تصل اليه أعماقها . وأقصى سجل حتى الآن يبلغ ما بين ٣٥٢٩٠ قدما ، ٣٥٦٤٠قدما ، وذلكعند الجنوبالشرقى منجزر ماريانا . وهذا العمق قد سجلته السفينة الملكية الحديثة « تشالنجر » ، وهو نفس اسم السفينة الشهيرة التى تعتبر رحلتها حول العالم فى عام ١٨٧٠ مولدا لعلم البحار الحديث . والواقع أن السفينة الأصلية « تشالنجر » هى التى اكتشفت منخفض « ماريانا » ، وقد عرفت لمدة سنوات طوال باسم « هوة تشالنجر » .

وعلى وجه العموم يبدو أن المقطع المستعرض لجميع الأخاديد العميقة يتخذ شكل الرقم « ٧ » ، رغم أن بعضها قليل الاستواء عند القاع ، ويتراوح عرض هذا الجزء المسطح ما بين ميلين وعشرة أميال فى أخدودى اليابان والفيلبين ويبدو كذلك أن مقطع بعض الأخاديد الضحلة ، والمنخفضات الشبيهة بالأخاديد ، على شكل حرف U ، وكذلك اتضح أن مساحات كبيرة من قاعها مستوية كما لو كانت الرواسب قد ملأت جزءا منها . واذا وجدت الرواسب بالأخاديد التى على شكل الرقم ٧ فان سمك تلك الرواسب لا يمكن أن يعدو مئات قليلة من الأقدام .

ان عملية استكشاف هذه الأخاديد استكشافا مباشرا أمر غاية فى الصعوبة . فعمقها السحيق وشدة ضيقها يقيمان صعوبات لايمكن تلافيها . ولكى ندلى الى قاع الأخاديد العميقة بأجهزة ثقيلة لتصيد العينات لابد أن تجهز السفينة بحبل دقيق مصنوع من أقوى أنواع الصلب ، وكذلك بآلة رفع قوية مصممة بطريقة خاصة . وهذا النوع من الآلات الرافعة لايوجد منه الآن غيرثلاث فقط وقد صنعت احداها لحساب بعثة « الباتروس » السويدية

عام ١٩٤٨ — ١٩٤٩ ، وقد استعملتها فيما بعد بعثة « جالاثيا » الدانيماركية عام ١٩٥٠ — ١٩٥٢ والآلة الرافعة الثانية مودعة بسفينة الأبحاث « سبسر ف . بيرد » التابعة لمعهد سكريبس ، ونوجد الرافعة الثالثة بسفينة الأبحاث السوفييتية « فيتياز » .

واطار الآلة الرافعة بالسفينة « بيرو » يستوعب ٤٠٠٠٠ قدما من الأسلاك وعندما تتدلى هذه الأسلاك فى أخدود « تونجا » وبطرفها ثقل العينات الكبير يبلغ الضغط الناجم عنها عند سطح السفينة ١٢ طنا .

وتستغرق عملية ادلاء الثقل لأخذ العينات ساعات عديدة . ومما يزيد الأمر تعقيدا عدم امكان الاحتفاظ فى معظم الأحيان بسفينة الأبحاث الصغيرة فى بقعة ثابتة فى وسط المحيط الهادى وتحت وابل من تيارات عاتية لا يمكن التكهن بها ، وكذلك تحت تأثير الرياح الجارفة . فالأسلاك دائما عرضة لأن تنفصم وكذلك تتعرض الآلة الرافعة عند أى وقت للتلف بتأثير الضغط الكبير ، وكلا الأمرين يعتبر خسارة فادحة تودى بهذا الجهد الثمين . وتشل حركة العمل وتبدد الآمال التى من أجلها بذلت الجهود لايفاد سفينة علمية الى الأماكن النائية من العالم .

واذا كان قياس قاع الأخدود والحصول على عينات من ذلك القاع أمرا عسيرا ، فان عملية تثقيب القاع لمعرفة المواد الواقعة تحته أمر مستحيل تماما بوسائلنا الحالية . ولذلك لامفر من اعتمادنا فى هذا الاستكشاف على وسائل غير مباشرة مثل دراسة أمواج الزلازل وقياس شواذ الجاذبية ، وانتقال الحرارة خلال القشرة ، والخواص المغنطيسية للصخور الدفينة .

ومنطقة الأخاديد هى الجزء من الأرض الذى يتمثل فيه نشاط الزلازل على أشده . ففى تلك المنطقة تقع كل الزلازل الكبرى تقريبا ، وخاصة تلك التى عند الأعماق الكبيرة . وتقترن أعمق الزلازل بأعمق الأخاديد وأشدها انحدارا . ويوحى ذلك بأن القوى التى تتولد عنها هذه الأخاديد تعمل عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض .

وقد تكون الزلازل فى الواقع هى السبب فى وجود خط من البراكين الثائرة مواز للأخاديد وقد افترض بعض الباحثين أن الحرارة المتولدة عند بؤرة الزلازل تصهر الصخور المحيطة بهذه البؤرة ، وأن المواد المنصهرة ترتفع ثم تلفظها البراكين فى آخر الأمر .

وتمدنا الدراسات السيسمولوجية لانكسار الأمواج بدليل آخر يتعلق بطبيعة القشرة الواقعة تحت هذه الأخاديد . ويتضح من هذه الدراسات أن سمك القشرة الأرضية تحت الأخاديد (تونجا وغيرها) أقل من ثلث سمك القشرة الواقعة تحت القارات ومن ثم فاننا نستنبط حقيقة على جانب كبير من الأهمية ، ألا وهى أن تركيب القشرة تحت الأخاديد هو من النوع المقترن بالمحيطات دون القارات .

وأهم الظواهر المقترنة بالأخاديد هو النقص فى قيمة الجاذبية وتتوقف قوة الجاذبية على كتلة المادة الواقعة بين السطح وبين بعد عميق فى باطن الأرض . وهذه القوة تتساوى بوجه عام عند جميع الأماكن الواقعة على خط واحد سواء كان المكان فى حوض محيط أو على سطح قارة . وذلك على الرغم من أن حجم الصخور الواقعة

تحت مساحة قارية اكبر من حجمها تحت نفس المساحة من محيط ما
وواضح أن القارات «تطفو» عاليا عن مستوى قاع البحر العميق،
كما يطفو الطوف الخفيف فى الوسط الذى يفوقه كثافـة . وفى
القارات نفسها يوجد عادة فرق طفيف فى مقدار الجاذبية عنـد
السطح الجبلى المرتفع ومقدارها عند سطح السهول المنخفضة .
والفرق الشائع هو أن سمك الطبقات المكونة من مواد خفيفـة
تحت الجبال أكبر منه تحت السهول . وتسمى حالة القشرة هذه
بالتوازن الاستاتيكى .

وتختلف قيم الجاذبية المقاسة بالقرب من الأخاديد اختلافا بينا
عن القيم المتوقعة . وتعتبر شواذ الجاذبية هذه من أكبر ما نصادفه
من شواذ فوق سطح الأرض . فمن الواضح أنه ليس من المتوقع
الحصول على توازن استاتيكى بالقرب من الأخاديد . فالقـوى
المكونة للأخاديد لا بد وأن يكون تأثيرها مضادا لقوة الجاذبية ،
فتعمل على جذب القشرة الواقعة تحت الأخاديد الى أسفل .

والآن نتساءل عن كنه هذه القوى ؟ وقد نحصل على اجابة
ممكنة لهـذا السؤال من دراساتنا لانتقال الحـرارة فى القشرة
الأرضية فكما بين « أ.أ. بنفيلد » فى الجزء من الكتاب عن « حرارة
الأرض » ؛ أن كميات ضئيلة من الحرارة تنتقل بصورة مستمرة
من أعماق الأرض الى سطح القشرة الخارجى . وتتولد معظم هذه
الحرارة من تحلل العناصر المشبـعة الموجودة بالقشرة وبالطبقـة
الغلافية التى تحدها من أسفل . فبالقرب من سطح الأرض يكون
معظم انتقـال الحرارة نحو الخارج بطريق التوصيل ، أما عنـد
الأماكن الأكبر عمقا فقد تتحرك الصخور الساخنة الى أعلى حركة

بطيئة ، حاملة معها طاقتها الحرارية نحو السطح . فاذا حدث فى مناطق ما من الأرض أن تحركت الصخور الساخنة والواقعة عند الأعماق الى أعلى ، فلا بد وأن هناك مناطق أخرى تتحرك منها الصخور الباردة الى أسفل . مثل هذه الحركة من شأنها أن تحد من انتقال الحرارة نحو الخارج . وتدل القياسات بالقرب من قاع أخدود « أكابولكو » على أن انتقال الحرارة هناك أقل من نصف المتوسط بالنسبة لسطح الأرض (ويبلغ المتوسط حوالى ٢٥٠ سعرا فى السنة لكل بوصة مربعة من السطح) . ومن ثم فمن المحتمل أن هناك صخورا باردة نسبيا تتحرك الى أسفل تحت الأخدود . مثل هذه الحركة المتجهة الى أسفل قد تجر معها القشرة ، الأمر الذى قد يفسر تكوين الأخدود . واذا كانت هذه العملية جارية فلا بد أن الطبقة الغلافية من الأرض أبرد تحت الأخاديد منها عند أى موقع آخر . وتلك حقيقة تؤيدها القياسات المغنطيسية ، الا أن عدد تلك القياسات لايزال أقل مما يمكننا الاعتماد عليه .

ومن المتوقع من مجمل معلوماتنا أن نضع تاريخ حياة الأخدود فى الصورة الآتية : تعمل القوى الصادرة من أعماق الأرض على تشكيل قاع البحر مكونة أخدودا على شكل الرقم ٧ . ويستقر العمق عند حوالى ٣٥٠٠٠ قدم تحت سطح البحر ، غير أنه ربما يستمر سحب مواد القشرة ، ومن بينها الطبقات الرسوبية ، الى أسفل داخل الأرض . والذى يحملنا على أن نفترض ذلك هو أن أعمق الأخاديد لاتحتوى فى الظاهر على رواسب رغم أن الأخاديد تعتبر مصيدة طبيعية لتلك الرواسب . هذا وتنشط البراكين والزلازل عادة خلال هذه الفترة من تاريخ الأخدود .

وفى أثناء الفترة التالية من تاريخه تفتر القوى العاملة على جذب

القشرة أو هصرها الى أسفل تحت الأخدود ومن ثم يبدأ الأخدود فى استقبال الرواسب ، لذلك يتخذ الأخدود شكل حرف U عند ما تغطى الرواسب التعاريج الطبوغرافية . وقد تتجمع الرواسب وتتراكم حتى تعلو قمتها فى آخر الأمر الى ما فوق سطح البحر مكونة الجزر ، وذلك عندما تصل المنطقة الى توازنها الاستاتيكى . وتكون الرواسب الموجودة بالجزء العلوى عبارة عن صخور من النوع الذى يترسب فى المياه الضحلة كالحجر الجيرى ، مثال ذلك « تونجا » و « ماريانا » .

وهناك عملية أخرى قد تلعب دورا عندما تتراكم طبقة سميكة من الرواسب . فمثل تلك الطبقة قد تكون بمثابة غطاء وعازل حرارى للأخدود . ذلك لأنها رديئة التوصيل الحرارى . ويترتب على ذلك أن يوقف انتقال الحرارة من الداخل ، فترتفع درجة الحرارة أسفلها مما يؤدى الى انصهار جزء من الصخور العميقة ، وحينئذ قد ترتفع المادة المنصهرة الى أعلى ، لتحول الصخور الثقيلة والجزء الأسفل من طبقة الرواسب الى صخور خفيفة من النوع الجرانيتى . وعلى هذا فان سمك القشرة لا بد أن يزداد عند منطقة الأخدود.

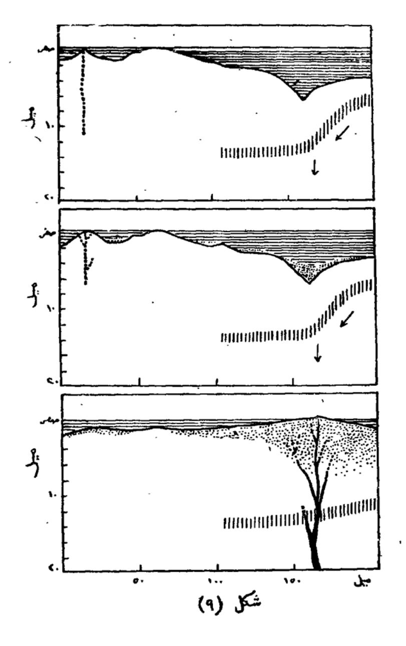
وقد اقترح بعض الجيوفيزيائيين أن مثل هذا التسلسل فى الحوادث ، قد تكرر مرة تلو أخرى خلال الماضى الجيولوجى ، وهذا هو النمط الذى نمت به القارات على حساب أحواض المحيطات . هنا يعن لنا أن نتساءل : فى أى مكان من القارات توجد تلك الأخاديد التى امتلأت ؟

وطبيعى أن يتجه تفكير المرء لأول وهلة الى تلك التكوينات

المحدودة والتى تمتد الى مسافات طويلة والمسماة بالقباب المقعرة (Geosynclines) حيث تراكمت الرواسب ونشأت السلاسل الجبلية ، وتحت عوامل الضغط تكونت الطيات . فهل كانت بعض هذه القباب المقعرة فى بادىء أمرها أخاديد كتلك التى نجدها بقاع المحيط ؟ كان المعتقد عادة أن الأمـر ليس كذلك ، اذ أن معظم الرواسب فى القباب المقعرة تبـدو أنها استقرت فى مياه ضـحلة وليست فى أخاديد عميقة . ومع كل فقد لا يكون هذا المظهر فى بعض الأحيان سوى صورة مضللة . فعينات الرواسب التى جمعت من أعمق الأخاديد تشبه من أوجه عدة الرواسب التى تستقر فى المياه الضحلة .

وحقيقى أن الصخور الرسوبية بالقباب المقعرة لا تحتوى على حفريات معروفة لحيوانات البحار العميقة ، غير أن حداثة عمـر الأخاديد لاتمكنها من أن تترك سجلا واضحا . وأعماق الأخدود حالكة الظلمة اللهم الا من بعض الأضواء الضعيفة الخافتة التى تبعث بها بعض الكائنات الحية المضيئة ، ولا قدرة للنبات على أن يعيش هناك . ولا بد للحيوانات والبكتيريا هناك من أن تحصل على غذائها شتاتا من البقايا النباتية والحيوانية التى تهبط ببطء من الطبقات العليا فى البحر . والمياه بالأخاديد شديدة البرودة . وتبلغ حوالى ٣٦٫٥° فهرنهيت ، ومن المحتمـل أنها كانت ادفأ من ذلك بحوالى ٢٠° فى الماضى الجيولوجى . والضغط عند قاع الأخدود مرتفع جدا بطبيعة الحال ، اذ يربو على ثمانية أطنان على كل بوصة مربعة .

ومنـذ أعوام عديدة انتشلت بعثة « جالاتيا » الدانيماركية



شكل (٩)

يبين الشكل المراحل الثلاثة التى يمكن ان يمر بها تاريخ أخدود أسفل البحر . ففى الشكل العلوى تعمل القوى الواقعة عنـــد أعماق كبيرة تحت السطح « انظر شكل (٣) » على جذب قاع المحيط لكى يتكون الاخدود على شكل الرقم ٧ . وفى الشكل الاوسط تكون القوى الجاذبة الى اسفل قــد هدات ، فتتجمع الرواسب فى قاع الاخدود محولة شكل مقطعة من شــكل الرقم ٧ الى الشكل U . عندما يستتب التوازن الاستاتيكى للقشرة كما هو مبين بالشكل الاسفل يرتفع سطح الرواسب الى ما فوق سطح البحر . ويعمل النشاط البركانى على جلب الصخور المنصهرة الى اعلى متخللة الرواسب حتى تصل الى السطح .

بضعة حيوانات من قاع أخاديد يربو عمقها على ٣٠٫٠٠٠ قدم ، وكانت الحيوانات الرئيسية التى حصلت عليها عبارة عن « خيار » البحر ونوع من شقائق البحر ، وكل من هذين الحيوانين لا يترك حفائر واضحة . وقد التقطت البعثة أيضا بعض الديدان والقشريات مع أسفنج زجاجى جميل .

وقد عثر بقاع بعض الأخاديد العميقة على مواد من المفروض عادة أنها لاتترسب الا فى المياه الضحلة . والتقطت بعثة « جالاتيا » من قاع أخدود الفيلبين رملا ناعما رمادى اللون ، وبعض الحصى وبقايا من نبات اليابسة . وفى حوض « بورتوريكو » عثر مرصد « لامونت » الجيولوجى بجامعة كولومبيا على هياكل الحيوانات ونباتات لا تعيش الا فى المياه الضحلة . وفى الجزء الشمالى لمستوى القاع من أخدود « أكابولكو » احتوت احدى العينات على طين أسود ناعم غنى بالمخلفات العضوية وتفوح منه رائحة كبريتور الكربون الكريهة ، كما عثر فى عينات أخرى على طبقات من الرمل الرمادى والأخضر والبنى والغرين كما وجد بين هذه الطبقات قطع خشبية متفحمة وطين ناعم أخضر اللون .

وعلى كل ، فمن الواضح أن بعض القباب المقعرة ، وخاصة تلك التى تقع على امتداد جبال « أبالاشيان » ، لايمكن أن نعزوها الى أخاديد كانت أصلا واقعة فى البحر العميق ، اذ أنها تحتوى على رواسب من المستنقعات وسهول غمرها الفيضان برواسب بحرية ، ومن ثم فان تلك الرواسب لا بد وأن تكون قد استقرت أصلا فى مياه ضحلة .

والسؤال الذى لا يزال يشغل بالنا هو : أين هى أخاديد الماضى؟

وهل نحن نجتاز الآن عصرا جيولوجيا خاصا ، وهل الأخاديد الحالية التى تبدو لنا حديثة العهـد لم يكن لها نظائر فى معظم التـاريخ الجيولوجى ؟ ان مثل هذا التصور لا يلائم كثيرا من الجيولوجيين اذ لا يستقيم مع القاعدة القائلة بأن الحاضر هو مفتاحنا الى الماضى ولا بد أن نواصل بحثنا عن أخاديد قديمة بقاع البحر العميق ، وبالمناطق المتطرفة للمياه الضحلة ، وبالقارات نفسها .



الغلاف المائى

HYDROSPHERE

●

الجزء الأول : جبال الجليد (GLACIERS)

بقلم ويليام أ . فيلد

المؤلف هو رئيس قسم الاستكشاف والابحاث بالجمعية الجغرافية الامريكية ، وقد بدأ اهتمامه بدراسة الجبال الجليدية بكلية هارفارد حيث تفوق فى علم الجيولوجيا . وفى ذلك الوقت عرف ان جبال الجليد بمنطقة ألاسكا تتعرض لتغير سريع ، فقرر « فيلد » ان يعكف على دراستها وتعقب تطورها مع الزمن . وبمجرد أن تخرج فى عام ١٩٢٦ قام بأولى رحلاته المتعددة الى تلك المنطقة . وفى عام ١٩٤٠ انضم الى الجمعية الجغرافية الامريكية ، وعهد اليه بوضع برنامج شامل لدراسة طويلة المدى لجبال الجليد . وفى أثناء الحرب العالمية الثانية أعد « فيلد » أولى أفلامه التدريبية لسلاح الاشارة ، ثم قضى عامين بالهند وبورما يعمل بشركة تصوير . وكان « فيلد » مسئولا عن وضع برنامج دراسة الجبال الجليدية الذى ساهمت به الولايات المتحدة الامريكية فى السنة الجيوفيزيائية الدولية .

الجزء الثانى : دورات المحيطات

بقلم والتر هـ • منك

ولد « والتر هـ . منك » بالنمسا ، وهى الدولة التى تفخر بان ينتسب اليها كثيرون من علماء علوم البحار ، رغم افتقارها الى البحار نفسها . ويشغل « منك » منصب أستاذ الفيزياء الارضية بمعهد « سكريبس » لعلوم البحار بمدينة « لاجولا » بكاليفورنيا ، وقد حصل على درجة الماجستير فى الفيزياء الارضية من معهد كاليفورنيا للعلوم التطبيقية ، وفى عام ١٩٤٧ حصل على درجة الدكتوراه فى علوم البحار من معهد « سكريبس » .

جبال الجليد

بقلم

ويليام أ. فيلد

الماء هو احدى المواد التى توجد فى الطبيعة فى حالاتها الفيزيائية الثلاثة ـ سائلة وصلبة وغازية . ويحتوى كوكبنا على ماء يبلغ فى جملته حوالى ٣٥٠ مليون ميل مكعب ، ويوجد معظمه بالطبع فى المحيطات . والماء فى حالته الصلبة ، سواء على شكل جليد أو ثلج لا يتجاوز ١ ٪ من مجموع مياه الأرض ، وهو على شكل بخار فى الجو أقل كثيرا من هذه النسبة ، ومع كل ، فهذه النسب تؤلف توازنا دقيقا بالغ الأهمية بالنسبة للحياة على سطح الأرض . فأى تغير كبير فى نسب الماء والجليد وبخار الماء بالجو تترتب عليه نكبات تلحق بالانسان واقتصادياته . وعلى سبيل المثال ، نجد أن الجليد المتراكم فوق اليابسة يتحكم فى مستوى سطح الماء بالبحار ويؤثر على المناخ ويسيطر على مصادر الماء بالقارات .

وتغطى جبال الجليد الآن حوالى ١٠٪ (أى حوالى ٦ مليون

ميل مربع) من مساحة اليابسة . وتقديرنا لمجموع المياه الموجودة بها ليس الا حدسا تقريبا ، اذ ليس لدينا غير معلومات غامضـــة عن سمك طبقة الجليد بالمنطقة المتجمدة الجنوبية ويؤلف هذا الغطاء الجليدى حـــوالى ٨٦٪ من مساحة الجبـــال الجليدية على سطح الأرض . ويؤلف الغطاء الجليدى بمنطقة جرينلاند حوالى ١٠ ٪ من هذ هالمساحة الكلية . وليست المساحة المتبقية ، أى البالغة ٤٪ بالضئيلة الشـــأن اذا قيست بالآثار التى يمـــكن أن تترتب على وجودها ، فهي تشمل عشرات الآلاف من الأميال المربعة من الكتل الجليدية الكائنة فوق جبال المناطق المعتدلة المناخ ، وهذه تتحكم تحكما وثيقا فى المناخ وفى مصادر المياه بالنسبة لمعظم سكان العالم من الجنس البشرى . ويعتبر التغير فى حجم هذه الكتل الجليدية مقياسا دقيقا لتغير المناخ .

يقـــدر الحجم الكلى للمياه التى تحتويها الجبـــال والكتل الجليدية فى أنحاء العالم بما يتراوح بين حوالى ٢ر٤ مليون ميل مكعب وما يربو على ٦ مليون ميل مكعب . واذا قدر لكل هـــذا الجليد أن يذوب لارتفع مستوى سطح الماء فى محيطات العالم بما يقرب من ٦٥ الى ٢٠٠ قدم !

توجد جبال الجليد فى المناطق التى يتزايد هطول الثلج فيهـــا سنة بعد أخرى بحيث تفوق الزيادة السنوية معدل ما ينصهر من الجليد سنويا . ويترتب على هذا أنه لا يتحتم أن يكثر وجود الكتل الجليدية حيث يكون المناخ أبرد ما يمكن .

ففى ألاسكا يزداد تراكم جبال الجليد على الشاطىء الجنوبى وهو أدفأ جزء فى الاقليم ، ولكن تساقط الثلج فيه شتاء أكثر من

تساقطه فى الأجزاء الأخــرى . وهناك أجزاء عارية من الجبــال الجليدية فى شمال « جرينلاند » لأن تساقط الثلج فيها غير كاف .

وعندما يتراكم الثلج المتساقط يكون من أثر ضغط طبقاته العليا أن يتماسك متحولا الى كتلة جليدية ، ويبدأ الجليد ، متأثر بثقله ، فى الانسياب الى ارتفاعات أقل . ويختلف معــدل انسياب حركة الجبــال الجليدية اختلافا كبيرا ، اذ يتحرك بعضها فى بطء شديد ، بينما يتحرك بعضها الآخر بسرعة تصل الى ٥٠ قدما فى اليوم . وعند الارتفاعات المنخفضة تنصهر الجبال الجليدية وتدفع بالكتل الثلجيةالى عرض البحر . وتقدم جبل الجليد أو انحسارهأمر لايتطلب أكثر من تغير طفيف يطرأ علىالارتباط بين كمية الثلج المتساقطة سنويا ، ودرجة حرارة فصل الذوبان ، وغــير ذلك من الاحوال الجوية .

	ميل مكعب
حجم الماء بالمحيطات (تقدير قريب من الدقة)	٣٢٩ر٠٠٠ر٠٠٠
حجم الماء بالجو (تقدير مقرب)	٣ر٦٠٠
حجم الماء بجبال الجليد (تقدير المتوسط)	٣ر٢٥٠ر٠٠٠
حجم الماء بالبحيرت والانهار (تقدير مقرب)	٥٥ر٠٠٠
حجم المياه الجوفية عند مستوى أعلا من ١٢ر٥٠٠ قدم (تقدير مقرب جدا)	١ر٠٨٠ر٠٠٠
حجم المياه الجوفية عند مستوى اقل من ١٢٥٠٠ قدم (تقدير مقرب جدا)	١٩ر٧٠٠ر٠٠٠

جدول يبين أحجام المياه موزعة بين سطح الارض والجو وبين سائله وصلبه . ويبلغ حجم المــاء بجبال الجليد حــوالى ١ ٪ من المجموع الكلى .

ومن المحتمل أن الأرض فى معظم فترات تاريخها كانت خالية من الجبال الجليدية . فنحن نجتاز عصرا استثنائيا ، لا هو جليدى ولا هو غير جليدى . ففى خلال المليون عام الأخيرة مرت الأرض بأربعة عصور جليدية عظمى على الأقل ، وكان الجليد فى ذروة هـــذه العصور يغطى حوالى ٣٢ ٪ من مساحة اليابسة . وكانت العصور الجليدية يفصل بين كل منها فترة دفء طويلة تكاد تختفى جبـــال الجليد أثناءها . ويبدو أننا نجتاز الآن طورا انتقاليا ، طورا يقع فى فترة ما بين عصر جليدى وعصر يفصل بين عصرين جليديين . فعدد جبال الجليـــد الآخذة فى النمو الآن محدود ، فى حين أن

	ميل مربع
شمال امريكا	٢٩ر٧٠٠
جزر المتجمد الشمالى الكندى	٥٩ر٢٠٠
جرينلاند	٦٩٥ر٠٠٠
جنوب امريكا	٩ر٧٠٠
اوروبا	٤ر١٠٠
جزر شمال الاطلنطى المتجمد الشمالى الاوروبى	٤٨ر١٠٠
آسيا	٤٨ر٧٠٠
افريقيا	١٢
جزر المحيط الهادى	٤٠٠
جزر قريبة من المتجمد الجنوبى	١ر٢٠٠
المتجمد الجنوبى	٤ر٨٨٤ر٢٠٠
المجموع العالمى	٥ر٧٨٠ر٣١٢

يبين الجدول توزيع المساحات المغطاة بالجليد فى أنحـــاء الارض « والسمك الكبير لطبقة الجليد فى منطقة المتجمـــد الجنوبى يزيد من النسبة الضخمة للجليد الموجود بتلك المنطقة « مقدرة بالميل المكعب » عن نسبته المساحية الكبيرة .

معظم جبال الجليد فى طور الانكماش ، وبعضها فى طريقـه الى الزوال .

ومن المحتمل أن سطح البحر أثناء العصر الجليدى الأخير كان دون منسوبه الحالى بحوالى ٢٥٠ قدما ، وكانت درجة الحرارة فى العالم تقل فى المتوسط بمقـدار يتراوح بين ٧ درجات ، ١٤ درجة . وكانت هناك خمس ساحات من سطح القارات يغطيهـا الجليد ، تربو مساحة كل منها على مليون ميل مربع ، وقد اختفت ثلاث من هذه الساحات ، بأمريكا الشـمالية واوربا وسيبيريا ، وبقيت اثنتان منها بجرينلاند والمنطقة المتجمدة الجنوبية أما الجبال الجليدية فقد تقلصت جميعها .

بدأ ظهور الحضارة فى غـرب آسيا وشمال أفريقيـا فى نفس الوقت الذى بدأ فيه اختفاء الساحة الجليدية بأوروبا وأمـريكا الشمالية . وحوالى عام ٣٠٠٠ قبل الميلاد كان المناخ فى معظم انحاء العالم ، ان لم يكن فى العالم أجمع ، أكثر جفافا وأدفأ بمقـدار درجتين أو ثلاث درجات عما هو عليه الآن . وكان مستوى سطح البحر ، فيما يبدو ، أعلى بمقدار يتراوح بين خمسة وستة أقدام . وكانت المنطقة الجليدية بالالب أعلى بمقدار ١٠٠٠ قدم على الأقل ومن المحتمل أن الجليد فى المحيط المتجمد الشمالى كان ينصـهر تماما فى صيف كل عام . أما بعض أجزاء المناطق المعتدلة ، حيث تمدها الآن الجبال الجليدية الصغيرة بمصادر المياه الصيفية ، فلابد أنها كانت جرداء .

وحوالى عام ١٠٠٠ قبل الميلاد بدأت الظروف تتغير تغيرا كبيرا فقد جنح المناخ الى البرودة وازداد قيـام العواصف فى كثير من

أنحاء العالم ، وحوالى عام ٥٠٠ ق . م بدأت تنمو الجبال الجليدية مرة أخرى ، ثم جاءت فترة تقهقرت فيها ثانية ، وذلك خلال الألف عام الاولى بعد الميلاد . ولكنها عاودت نموها وبلغت ذروتها مرة أخرى فى الفترة ما بين القرن السابع عشر والقرن التاسع عشر . وقد سجل بعض المراقبين بعث الجبال الجليدية هذا تسجيلا مباشرا فى الألب واسكنديناڤيا وايسلاند . وقد بدأت الجبال الجليدية فى التقلص مرة أخرى خلال النصف الأخير من القرن التاسع عشر . وقد ترتب على هذا أن مستوى سطح البحر أخذ فى الارتفاع بمعدل ٢ر٥ بوصة فى كل قرن . ومع كلّ ، فإن بعضها قد نما ، خلافا للقاعدة العامة . ففى بعض أجزاء غرب الولايات المتحدة الامريكية نجد بعض جبال الجليد آخذا فى النمو ، الأمر الذى ينبىء عن تغير فى المناخ .

بدأت دراسة جبال الجليد دراسة جدية منذ نيف ومائة عام ومنذ عام ١٩١٩ بدأ هانز و . ض . آلمان (Hans W. Son Ahlmann) بجامعة استوكهولم (الآن سفير السويد الى النرويج) عهدا جديدا فى جغرافية جبال الجليد فقد أخذ يعالج بنظرة جديدة وبتفصيل أشمل موضوع جبال الجليد فى اسكنديناڤية وايسلاند وسبتزبرجن وشمال شرقى جرينلاند . وقد أدت دراساته الى استنباط طريقة جديدة لقياس نموها أو تضاؤلها . ومراقبة جبال الجليد أمر يجرى الآن بأسلوب منظم فى أنحاء متعددة من العالم . وفى خلال الأعوام العشرة الأخيرة أجريت دراسات هامة فى جرينلاند ، وخاصة تلك التى قامت بها بعثة « بول فيكتور » (Paul Victor) الفرنسية القطبية ، وقدرت فيها حجم طبقة

الجليد بجرينلاند ، ودرست كميات الجليد فى مساحة واسعة منها .

أما طبقة الجليد فى المنطقة الجنوبية ، والتى لا نعلم عنها الا القليل ، فتبلغ فى الحجم قدر الولايات المتحدة الامريكية وأقاليمها مرة وثلث مرة ، وهى تغطى عمليا كل مساحة قارة المتجمد الجنوبى . وهناك مليونان من الأميال المربعة لم يسبق رؤيتها حتى من الجو ، وذلك الى وقت الكشف الحالى الذى يجرى بمناسبة السنة الجيوفيزيائية الدولية . والمعروف أن قمة الجليد ترتفع الى ٠٠٠ر١٣ قدم ، غير أن سمك الطبقة الجليدية لم يتم قياسه الا فى أماكن قليلة . ومنطقة المتجمد الجنوبى الآن موضع دراسة متشعبة يقوم بها المتخصصون فى الجبال الجليدية وغيرهم من العلماء . وسوف تقوم باستكشافها فرق أبحاث لمدة عامين ، يعملون اما فى قواعد متعددة ، أو مستخدمين عربات الجليد ، أو مسجلين مشاهداتهم من الجو . وسوف يجمع أكبر قسط ممكن من المعلومات عن سمك طبقة الجليد وما يطرأ عليها من تغيرات ، وكذلك عن الحالة الجوية ، والتركيب العضوى داخل هذه القارة الجليدية ..وسوف تقام احدى المحطات الامريكية بالقرب من القطب الجنوبى ، وعلى ارتفاع ٩٥٠٠ قدم ، كما تعد دول أخرى محطات داخل القارة . وسوف تكون هذه هى المرة الأولى التى يقضى فيها انسان فصل الشتاء بداخل هذه القارة . ولا يعلم أحد الى أى درجة تصل البرودة شتاء قرب القطب الجنوبى ، غير أنه من المتوقع أن تصل درجة الحرارة الى ١٠٠° فهرنهيت تحت الصفر أو أبرد من ذلك .

أما فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية فسيوجه برنامج

الولايات المتحدة الامريكية بصفة خاصة الىدراسة جبال الجليد : من حيث نموها وتناقصها وحجمها ، وارتباط كل ذلك بالتغيرات التى تطرأ على الأحوال الجوية . وستتناول الدراسة شمال غربى المحيط الهادى ، وألاسكا ، وجليد بحرالمتجمدالشمالى ، والغلاف الجليدى بجرينلاند . وسوف تكون هذه الدراسة بمثابة امتداد وتوسع للدراسات التى أجريت علىفترات متقطعة منذ عام ١٨٨٠، والدراسات المنظمة التى أجريت خلال ربع القرن الأخير .

الهدف من كل هذه المشاهدات هو تقدير الحالة الراهنةلجبال الجليـد حتى يمكن مقارنة مسلكها والتوازن المائى فى الانحـاء المختلفـة من العالم . وتلك المشاهدات لا بد أن تمـدنا بشتى المعلومات ، ليس فقط عن التاريخ الماضى للأرض ، بل أيضا عن مستقبل التطورات الممكنة فى كمية المياه وفى المناخ .

دورات المحيطات

بقــــلم

والتر ﻫ. منك

يعلم الجميع الفارق بين المنـــاخ وحالة الجو بين يوم وآخر . وكثيرون لا يعلمون أن مثل هذا التمييز ينطبق أيضـــا على حالة تيارات المحيطات . والى عهد قريب كانت معلوماتنا مقصورة فقط على متوسط المعالم العريضـــة لتحركات المحيط ـــ أى التيارات « المناخية » . غير أن الدراسات الحديثـــة قد كشفت عن وجود تحركات دقيقة مستقلة عن هذا المناخ ، لا تلبث أن تغير من اتجاهها من يوم الى آخر بأسلوب زئبقى غاية فى الغرابة . فاذا استخدمنا عشر سفن فى مواضع استراتيجية فى تيار الخليج (Gulf Stream) لقياس التيارات وعمل « خريطة طقس » للتيـــار فى يوم الخميس المقبل ، لاختلفت الخريطة عن تلك التى نحصل عليها بالنسبة ليوم الجمعة التالى . ومنذ زمن غير بعيد كنا نراقب سفينة شحن متجهة الى أوروبا متخذة فى عناية طريقا مرسوما كان حريا حسب الخريطة المناخية القديمة أن يعجل بوصولها الى غايتها نتيجة لانتفاعها بتيار

الخليج . ولكن الواقع أن السفينة كانت تشق طريقهـا فى بطء اذ كان يعترضها تيار مضاد سرعته عقدتان ، بينما كان تيار الخليج فى ذلك الوقت يبعد بمسافة مائة ميل عن طريقه المعتاد .

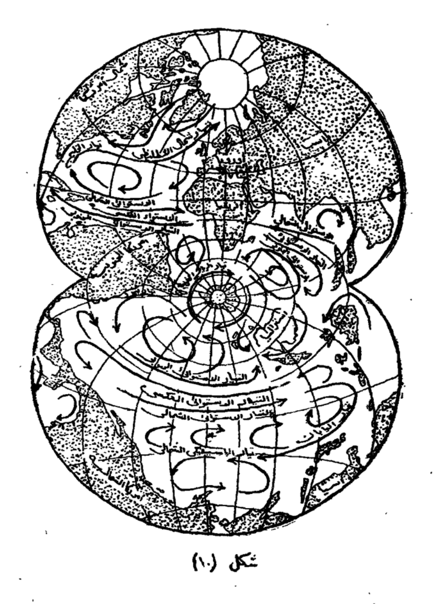
والنزوات التى كانت تنتاب تيارات المحيط لم تكن من الناحية العمليـة معروفة الى أن قامت الحرب العالميـة الثانية ، حينمـا استحدثت أساليب جديدة ، وبينت الخرائط المفصلة أن التيارات بالمحيط الأطلنطى ليست مستقرة ، أو أنها ليست مما يمكن التكهن بها كما توحى به الخرائط المناخية السابقة . وكان من أثر ذلك أن أصـبح رجال علوم البحار مهتمين الآن بنـوعين من الخرائط : الخرائط المناخية التى تبين متوسط التيارات فى مساحة كبيرة لمدة عام ، والخرائط الاجمالية التى تشبه التقرير اليومى أو الأسبوعى عن الجو ، والتى تبين كيف تتغير التيارات من أسـبوع لآخر . وتبدو التيارات فى أحد نوعى الخرائط مختلفة تمام الاختلاف عنها فى النوع الثانى . ففى الخرائط الاجمالية تبدو التيارات ضـيقة ومتعرجة وسريعة ، بينما تبدو فى الخرائط المناخية عريضة وقليلة التعرج وبطيئـة . ولكل من الخريطتـين فوائده . فاذا شئت أن تدرس ظاهرة طويلة المدى مثل نزوح الرواسب بعيدا عن القارات بتأثير تيارات المحيط ، فعليك بالتزام الخريطة المناخية ، ومن الناحية الأخرى ستكون الخريطة الاجمالية أكثر نفعا لك اذا كنت تقود سفينة أو غواصة .

أعد علماء علوم البحار خرائط للتيارات التى تجتاح جميـع محيطات العالم بصفة عامة ، مستخدمين فى ذلك طريقة تشبه تلك التى تحدد بها التيارات الهوائية بالجو . بمعنى أن تيارات المحيط

تستنبط من مجالات الضغط بالبحار ، وتلك يمكن معرفتها بقياس درجة ملوحة الماء ودرجة حرارته . والشكل (١٠) عبارة عن خريطة تلخص لنا ما نعلمه عن التيارات المناخية التى تجتاح سطح المحيطات (طبقة عقمها ١٠٠٠ قدم من السطح) .

هل يرتبط هذا النمط المعقد للتيارات بنظام ما ؟ ـ وهل هناك قاعدة ما يخضع لها هذا النمط ؟ أظن أن تلك القاعدة موجودة ، والخريطة الموضحة فى شكل (١١) هى محاولة لتحليل العناصر الرئيسية للصورة . ولنفترض أننا مثلنا بيانيا التيارات التى يجب أن تظهر فى محيط مثالى مستطيل الشكل تؤثر عليه الرياح المعروفة التى تهب على العالم عند خطوط العرض المختلفة . (ولتبسيط الأمور سوف نأخذ فى اعتبارنا فقط المركبات الشرقية ـ الغربيه لنظام الرياح متجاهلين التفاصيل من أمثال الرياح التى تهب حول مرتفع برمودا .) عندئذ تنقسم الدورات فى مثل هذا المحيط الى دورات (حلقات) تناظر أحزمة الرياح ـ حلقة فى عكس اتجاه حركة عقرب الساعة بالمناطق الدوقطبية (الواقعة قبل القطبين) وتيار فى اتجاه حركة عقرب الساعة بالحزام الدوستوائى (دون خط الاستواء) الشمالى ، وحلقة ضيقة على كل من جانبى خط الاستواء ، وحلقة فى اتجاه مضاد لحركة عقرب الساعة فى المنطقة الدوستوائية الجنوبية ويوجد بكل حلقة تيار قوى متواصل على الجانب الغربى (ناشىء كما سوف نرى عن دوران الأرض) يعدله تيار آخر مضاد بالجزء الأوسط والشرقى .

يمكننا بشىء من التصور أن نتعرف على هذا النمط فى أحواض المحيطات الثلاثة الكبرى بالأرض . فالتيار الغربى القوى يتمثل



شكل (١٠)

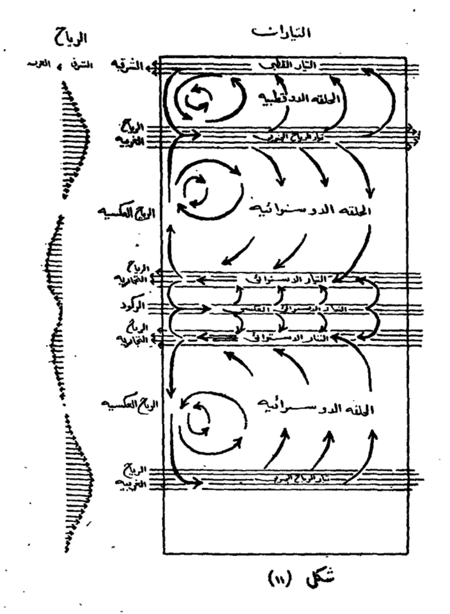
التيارات المناخية بالمحيطات موضحة على مسقط يمثل أحواض المحيطات مع أقل انعماج فيما بينها . والنمط « مناخى » ، بمعنى أنه يمثل المتوسط الطويل المدى ويتجاوز عن التغيرات التى تحدث من يوم لآخر . ويبين شكل (١١) النظام الذى يبنى عليه مثل هذا النمط المعقد للتيارات .

فى تيار الخليج بالمحيط الأطلنطى الشمالى ، وتيار «الكوروشيو» بشمال المحيط الهادى ، وتيار « البرازيل » بالمحيط الأطلنطى الجنوبى ، وتيار « أجولهاش » بالمحيط الهندى ، وربما أيضا

تيـار « شرق أستراليا » بجنوب المحيط الهادى . والتيـار الذى تدفعه الرياح الغربية القوية خلال الفترة « الأربعينية الهـادرة » بنصف الكرة الجنوبى لا يتدفق فى حلقة ، ولكنه يدور حول الكرة جميعهـا اذ لا تعترض القارات طريقه ، وذلك هو تيـار المتجمد الجنوبى العاتى الذى يدور حول القطب .

وحلقات تيار المحيط فى صورتنا هذه لا يقتصر تطابقها مع نظام الرياح فحسب، ولكنها أيضا تناظر الخواص الكيميائية والبيولوجية لمناطق المحيط . وعلى سبيل المثال ، تحيط كل حلقـة من حلقات المنطقـة الدوستوائية ببحر دافىء نسبيا ، مالح ، فقير فى المواد الفوسفاتية ، نشاطه البيولوجى ضئيل ، ولونه أزرق (والأزرق هو اللون الصحراوى للبحار) . وعند أطراف الحلقة تتغير هذه الظروف تغيرا حادا ، ويسيطر على البيئة الواقعة عنـد مركز كل حلقة بالقرب من الشاطىء الغربى استقرار غير عادى . خير مثـل نعرفه لهذه المناطق هو بحر سارجاسو بالمحيط الأطلنطى ، واسمه مشتق من حشائش السرجوم الطفيلية التى يكثر تواجدها به . أما المناطق الستـة الأخرى بالعالم ــ مراكز الحلقـات الدوستوائية بالمحيطات ــ فمن الممكن أن نجدها عامرة بنفس النوع من الحياة البحرية ، مع التجاوز عن فوارق بيئية محدودة ، ولكن هـذا أمر لا يزال يحتاج الى استكشاف .

التفاصيل الدقيقة للميكانيكية التى تولد بها الرياح دورات المحيط أمر معقد وغير واضح . وأول الأمور المعقدة هو فى حـد



شكل (١١)

يبين الشكل نمط التيارات المائية فى محيط مثالى مستطيل الشكل ، يتعرض فقط لقوى الرياح الافقية التى تمثلها الاسهم على يسار الشكل . وكل خلية كبرى للتيارات المائية من الخلايا المبينة هنا يتحتم وجودها فى النظام الحقيقى للتيارات بالمحيط المبين بالشكل (١٠) مع عدم وضوح مسارها لوجود العقبات الطبوغرافية .

ذاته فعل الرياح بالماء . فالرياح يمكنها ببساطة أن تحرك الماء بقوة الاحتكاك لدى انزلاقها على صفحته ، حتى عند ما تكون هذه

الصفحة هادئة . ولا بد أيضا أنها تزيد من سرعة حركة الماء عند ما ترفع الرذاذ ثم تهبط به ثانية ، وخاصة أثناءالأنواء ، عند ما تتزايد كميات الماء المرتفعة بحيث يختفي « الحد الفاصل » بين صفحة الماء والهواء . ومن الوسائل الهامة التى تدفع بهاالرياح مياه المحيط هو ضــغطها على الأمواج عند ما يكون البحر هائجا ــ تمــاما كما تنحنى ورقات الحشائش لدى هبوب الرياح على حقل ، اذ يكون الضغط على الجانب الذى تهب منه الريح أعلى منه على الجانب الآخر . ومن ثم تتبــين أن العامل الأساسى فى تجاوب المـــاء مع الرياح ليس هو الأمواج الضخمة التى تهز السفن وتصيب الناس بدوار البحر ، ولكنه المويجات الصغيرة . واذا قدر لنا أن نغطى شمال الأطلنطى بطبقة من الزيت لنجعل من هذه المويجات سطحا مستويا ، لأصبح تيار الخليج أضعف بكثير مما هو عليــه الآن . وتبلغ أهمية هذه المويجات الصغيرة حدا مدهشا . وانى لأتساءل هل يعنى أى ملاح أمين بأن يعترف بأن المويجات الصغيرة التى لم يعرها الا القليل من اهتمامه ربما كانت بعضا من أسباب انحرافه عن طريق ملاحته ؟.

كيف يتسنى للرياح الدافعــة أن تولد الخلقــات الــكبرى بالتيارات ، تلك الحلقات التى نشهدها بالمحيطات ؟ هنــاك نظرية نضجت خلال الأعوام العشر الأخيرة . ولنبدأ من موضع لا توجد به حواجز يابسة تعترض طريق الماء الذى تدفعه الرياح . فى هذه الحالة سوف تجرى التيارات فى دائرة كبيرة حول الأرض كما هو الحال فى التيارات التى تجرى حول قارة المتجمدالجنوبى . وتتعقد

الأمور عند ما ندخل فى اعتبارنا كتل اليابسة ولنفترض أننا نقيم
حواجز لنحصل على بحر مقفل فاذا هبت الرياح من الغرب فقط
وكانت قوتهـا متساوية لدى كل خطوط العرض التى تمر بهـذا
البحر ، ففى هذه الحالة لا يمكن أن تتولد تيارات دوراة ؛ وهذا
أمر تام الشـبه بعجلة الطاحونة الهوائية التى تتعرض ألواحهـا
المتقابلة لقوى متساوية تعمل فى نفس الاتجاه ، انها لا تتحرك فى
هذه الحالة . ان الرياح سوف تكون سببا فى تراكم المياه فى بساطة
فى الجانب الشرقى من البحر . أما اذا كان الريح عند خط عرض
معين أقوى منه عنـد خط عرض آخر فان الريح القوى سـوف
يتغلب على الريح الضعيف فتبدأ المياه فى الدوران . وبالطبع يصبح
دوران المياه أقوى اذا كان اتجاه الريح عند خط عرض ما عكس
اتجاهه عند خط عرض آخر . والى هذا الأثر يجب أن نضم الآن
الأثر النـاجم عن دوران الأرض . وقد أوضح هنرى سـتوميل
(Henry Stommel) بمعهد « وودزهول » لعـلوم البحار أن
دوران الأرض من الغرب الى الشرق يولد عزما من القـوى التى
تؤثر على تيارات المحيط وأن مركز هذا العزم يزاح نحو الغرب ،
فتشتد التيارات فى الجانب الغربى .

وعلى وجه العمـوم نجـد أن التيـارات الـكبيرة التى
تدفعهـا الرياح بمحيطـات العـالم تلائم هـذا النمـوذج
وتتسق مـع النظرية المشتقة منـه . وتقـع حـدود التيارات
العظمى حيث يجب أن تكون بالنسبة لنظـام الرياح ، كما تظهر
كذلك التيارات الغربية القوية حيث يجب أن تكون . وفضلا عن

هذا فقد اكتسبت النظرية بعض التأييد من التجارب التى أجراها ولیام فون أركس (William Von Arx) من «وودزهول» على نموذج معملى يمثل تيارات المحيط . والنموذج عبارة عن حوض يشبه عجلة الروليت ويدور حول محوره ، وهو أساسا على شكل نصف كرة مقلوبة . وتمثل المحيطات فيه بغشاء رقيق من الماء فى حالة اتزان وهو عالق بسطح نصف الكرة التى تداوم دورانها بينما تهب الرياح فوق الغشاء المائى من فتحات ضيقة لآلة تنظيف كهربائية . ويعبر نموذج « فون أركس » عن مسقط النصف الشمالى للكرة الأرضية على هذا الحوض بحيث يقع القطب الشمالى عند النقطة المنخفضة بمركز الحوض . وتوضع فى هذا المركز بلورات « برمنجنات البوتاسيوم » ، بحيث اذا أضيف بعض المداد الى الماء يتفاعل مع البرمنجنات فتبين الألوان المختلفة أنماط تدفق المياه « ويبرز نموذج » « فون أركس » فى دقة الحلقات الدورانية لشمال الأطلنطى وجنوب المحيط الهادى ، بما فى ذلك التيارات الغربية الشديدة . ومما يزيد في أهمية النموذج أننا نستطيع تغيير الطبوغرافية والرياح بحيث توضح لنا التيارات الممكن وجودها فى الماضى عند ما كانت الظروف مختلفة ، وعلى سبيل المثال يمكننا أن ندرس كيف كان مجرى تيار الخليج فى الفترة التى كانت فيها أمريكا الشمالية منفصلة عن أمريكا الجنوبية عند الموضع المعروف الآن بمضيق بنما .

لا يصح أن نفترض أن هذه المشاهدات والتجارب تنطوى على التأييد الكامل للنظرية المتعلقة بكيفية تولد دورات المحيط ، اذ

نجد تناقضا فى بعض الحالات ، وخاصة بعض الدورات فى محيطات نصف الكرة الجنوبى التى لا تستقيم والنمط الذى تصوره تلك النظرية .

هـذا هو موقفنا اذن من الدورات المناخية . بدأ عصر قياس التيارات الاجمالية ، أو عناصر الطقس البحرى يوما بيوم ، منذ عهـد قريب عند ما اخترعت الأساليب والأجهزة الحديثة وأهمها : (١) الطريقة اللاسلكية لتحديد الأماكن ، والمعروفة باسم « لوران » ، (٢) جهـاز القياس السريع لدرجات الحرارة عنـد الأعماق المختلفة والمسمى « بالمسجل الحرارى المائى » ، (٣) جهاز يسمى بالرسم الكهرومغنطيسى الأرضى » ، وهو الذى يعين حركة مياه المحيط عن طريق قياس الجهد الكهربائى المتولد فى الجهـاز نتيجة لحركته فى المجال المغنطيسى الأرضى .

وقد اكتشف « كولومبوس أ . دونيل ايزيلين » (Columbus O'Donnel Iselin) ومعاونوه بمعهد « وودزهول » لدى معاودتهم لدراسة تيار الخليج أن هذا التيار أضيق وأسرع كثيرا مما كان معتقدا . وعند ما تحسنت أجهزتهم ووسائلهم أصبح التيار أشد ضيقا وأكثر سرعة . كما اتضح لهم أيضا أن موضع التيار واتجاهه يتغيزان من رحلة بحرية الى الرحلة التى تليها . ففى عام ١٩٥٠ نظـم مكتب علوم البحار ببحرية الولايات المتحـدة الأمريكية بعثة من خمس سفن أطلق عليها اسم « عملية كابوت » لدراسة تيار الخليج عن كثب . واستطاعت البعثة أن تكشف ظاهرة

غاية فى الأهمية : فتيار الخليج قد ضل طريقه المعتاد ليرسم أنشوطة طولها ٢٥٠ ميلا ! وبعد يومين يبدو شكل الأنشوطة وقد اتخذ صورة دوامة مستقلة ثم أخذت هذه الدوامة تضمحل تدريجيا .

وقد قدرت كمية الماء التى تنقلها هذه الدوامة المفردة من شمال الأطلنطى وتدفع بها جنوبا الى المنطقة الدوستوائية بحوالى ١٠ مليون طن . وواضح أن نقل مثل هذه الكمية الضخمة من المياه بما تحويه من الكائنات الحية لا بد أن يكون عظيم الأهمية بالنسبة لأحياء البحر . ومن الممكن أن تندفع دوامات مماثلة من الجنوب نحو الشمال لتحمل بمياه المنطقة الدوستوائية الى الجزء من المحيط الأبرد منها .

وهناك خصائص أخرى لتيار الخليج لم يكن يخطر وجودها ببال أحد الى أن اكتشفها « فريدريك فيجلستر » (Frederick Füglister) بمعهد « وودزهول » ، وهو فنان يشتغل بعلوم البحار منذ الحرب العالمية الأخيرة . فعندما رسم فوجلستر التيارات مستخدما التدرجات الحرارية التى قيست بواسطة راسم للحرارة المائية ، حصل على نمط يستفاد منه أن تيار الخليج يتكون من عدد من الشرائط أو الغدائر الطويلة الضيقة المتفرقة . وأن هذه الغدائر ليست متصلة على مدى آلاف الأميال ، بل القاعدة أن يتلاشى الغدير فى مكان ما كى يبدأ غدير آخر فى مكان آخر . أو بعبارة أخرى ، يبدو أن فكرة وجود تيار الخليج كتيار مفرد متصل طوال المسافة بين فلوريدا وأوروبا فكرة باطلة . وأقرب الى الصواب أن نتصور أن التيار يتكون من غدائر تجرى بسرعة عالية

وتفرق بينها تيارات مضادة . وباستخدام جميع الوسائل الحديثه استطاع « ل.ف» ورثنجتون » (L. V. Worthington) بمعهد «وودزهول» أن يؤيدهذه النظرية تأييدا راسخا ، وذلك بالدراسة المفصلة للقطاعات المستعرضة . ففى قطاع مستعرض يبلغ طوله ٣٠ ميلا استطاع « ورثنجتون » أن يميز وجود ثلاثة غدائر كبرى متفرقة ،يتدفق كل منها بسرعة ٣ أميال فى الساعة . وتبعه «جونتر ورثهايم » (Gunther Wertheim) بمعهد « وودزهول » أيضا فأوضح تعقيد تيار الخليج وميله الى التغير عندما اكتشف أن انتقال الماء بواسطة قطاع فلوريدا للتيار يتضاعف شهرا بعد شهر . وقد حسب تحرك الماء بقياسه للجهد الكهربائى بين « هافانا » و « كيوست » مستخدما أقطابا مثبتة الى أسلاك تلغراف ولايات الاتحاد الغربى بين تلك النقطتين .

وقد أقنع « فوجلستر » نفسه بأن تيار اليابان أيضا يمكن أن يتكون من غدائر . وفى الحق أنه أينما نظر المرء وجد جو المحيط متقلبا . وقد وجد « هنرى ستوميل » أن التيارات شديدة التغيير ، فكلما اشتدت الريح أو هدأت تولد عنها تيار دوار .

وفيما يلى أسوق استنتاجى من النظرية الجديدة المتعلقة بطقس المحيط . تتحرك المياه فى عرض البحر حركة متغيرة وغير منتظمة الى حد كبير . واذا أطلقنا بالبحر علامة عائمة ، فيمكننا أن نتوقع أن التيار سوف ينقلها مسافة تقرب من نصف الميل فى الساعة ، غير أن السرعة والاتجاه يتغيران تماما من يوم لآخر . هذه الحركة غير المستقرة ـ أو « ضوضاء » تيار المحيط ـ تمثل بطريقة ما تجاوب

البحر مع الضربات المتعددة التى يتلقاها من الرياح التى تهب فوق سطحه . وليس التجاوب بسيطا ، كما أن العلاقة الرياضية التى تنطبق عليه ليست معروفة بعد . وواضح أن الطقس العارض للمحيط لا يسهم فى مقاومة التيارات الجوية صاعا بصاع كما تفعل التيارات المناخية البطيئة .

ويمكن بصورة عامة فقط أن نربط بين التركيب الدقيق لتيارات المحيط وبين التيارات المناخية . ومن الواضح أن هذا ناشىء عن أن التيارات العنيفة لا يمكنها أن تبدد كل الطاقة التى يكتسبها المحيط من الرياح ، الا أن السبب الذى يكسب تيارات المحيط هذا التركيب الدقيق يعتبر مشكلة تفتقد المزيد من الدراسة والبحث .

●

القسم الخامس

الغلاف الجوى

●

الجزء الأول : الدورة الجوية

بقلم هارى ويكسلر

اهتم هارى ويكسلر بتقدم علم الارصاد الجوية حين عهد اليه برئاسة قسم الخدمات العلمية فى مكتب الطقس التابع للولايات المتحدة .

وقد سبق له دراسة الارصاد الجوية فى معهد « ماساشوستس » للعلوم التطبيقية بعد تخرجه من كلية هارفارد عام ١٩٣٢ . وقد عمل اثناء الحرب العالمية الثانية فى مكتب الجو التابع لسلاح الطيران . وهو الآن رئيس الهيئة العلمية التى أوفدتها الولايات المتحدة لدراسة القطب الجنوبى ضمن برنامجها للسنة الجيوفيزيائية الدولية .

الجزء الثانى : الطبقة الجوية المتأينة (الأيونوسفير) .

بقلم ت . ن . جوتييه

الكاتب هو رئيس ابحاث طبقات الجو العليا فى قسم طبيعة انتشار الامواج اللاسلكية التابع للمكتب الاهلى للمقاييس . ولد فى ميامى ـ فلوريدا ـ وحصل على بكالوريوس وماجستير العلوم من جامعة فلوريدا . وفى عام ١٩٤٢ ترك جامعة « شمال كارولينا » حيث كان يجرى ابحاثه ، ليعمل اثناء الحرب فى مكتب المقاييس قسم الراديو . ولا يزال « جوتييه » فى منصبه هذا حتى الآن .

الجزء الثالث : الوهج القطبي والوميض الجوى

بقلم س . ت . ايلفى ، وفرانكلين . آ . روش

كان المؤلفان زميلين فى مرصد « مكدونالد » فى « تكساس » حيث اشتركا فى دراسة الوميض الجوى عام ١٩٣٥ ـ ١٩٣٦ ويعمل « ايلفى » الآن مديرا لمعهد الفيزياء الارضية بجامعة آلاسكا . وقد حصل على الدكتوراه فى طبيعة الكون (Astrophysics) من جامعة شيكاغو عام ١٩٣٠ ، وفى أثناء الحرب العالمية الثانية اشتغل بابحاث الصواريخ فى معهد « كاليفورنيا » للعلوم التطبيقية .

ويشغل « روش » الآن مركز مستشار فى قسم طبيعة انتشار الامواج اللاسلكية فى مكتب المقاييس الوطنى . وقد حصل على درجة الدكتوراه فى طبيعة الكون من جامعة شيكاغو عام ١٩٣٤ ، وقضى معظم السنوات التالية فى مراصد « يركس » و « بيركنز » و « مكدونالد » .

الجزء الرابع : ظاهرة الصفير .

بقلم ل . س . و . ستورى

الكاتب فيزيائى انجليزى تخصص فى علم الراديو ، ويعمل الآن فى مؤسسة المواصلات اللاسلكية فى مكتب ابحاث الدفاع فى كندا . تخرج « ستورى » من جامعة كمبردج عام ١٩٤٨ وحصل على مرتبة الشرف الاولى المضاعفة فى العلوم الفيزيائية ، ومن ثم تابع ابحاثه فى « ظاهرة الصفير فى المواصلات اللاسلكية » فى معمل « كافندش » تحت اشراف ج . أ . راتكليف »
(J. A. Ratcliffe)

وقد عمل بعد ذلك مدة اربع سنوات فى مؤسسة ابحاث الرادار البريطانية فى « مالفرن » وهى السنوات التى كان فيها « كلف الشمس » أقل ما يمكن . والآن وقد عاد الكلف الشمسى الى نشاطه ثانية فقد نشط ستورى بدوره وعاود دراسته لهذا الكلف مساهمة منه فى برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية .

الدورة الجويّة

بقلم

هارى ويكسلر

نحن مدينون للغلاف الجوى بعدة أمور لا يحتاج انسان الى أن نذكره بها ، ونعنى بها الآكسجين ، والرطوبة ، والوقاية ضد اشعاعات الشمس القاتلة . ولكن من بين صفات الغلاف الجوى الواهبة للحياة نجد أن حركته هى أهم تلك الصفات ، وتلك حقيقة غاية فى الوضوح الا أنه يطيب للناس عن غير قصد ألا يعيروها التفاتا . ولنتصور ما يمكن أن يحدث لو أن الغلاف الجوى حول الأرض أصابه سكون مميت . فالرياح توزع الحرارة من المناطق الاستوائية الى المناطق الأخرى ، وتنقل الرطوبة من المحيطات وتسقط المطر على القارات ، وتدفع هواء المدن الفاسد بعيدا وتستعيض به الهواء النقى . أما العالم الذى لا رياح فيه فان درجة حرارته ترتفع فى المناطق الاستوائية الى حد لا يطاق ، ويجثم برد مروع فوق المناطق الأخرى ، وتجف القارات وتتحول الى تراب بينما تختنق المدن .

ولحسن طالع الانسانية أن الغلاف الجوى يتميز بدورته العامة

التى تجعل الهواء فى حركة دائمة سريعة حول الكرة الأرضية ، يوما بعد يوم ، وسنة تلو أخرى . والطاقة اللازمة لدفع الغلاف الجوى للقيام بهذه الدورة طاقة هائلة ، فالرياح ذات طاقة حركة أكبر من مجموع الطاقة الكهربائية التى تولدها محطات الولايات المتحدة طوال قرن . ويجب أن تتجدد هذه الطاقة باستمرار لأن مايفقد منها بالاحتكاك بين الرياح والتضاريس الأرضية كبير جدا ، واذا لم تزود الرياح بطاقة جديدة لا تلبث أن تفقد جميع طاقتها فى مدة تتراوح بين ٩ أيام ، ١٢ يوما والشمس بطبيعة الحال هى مصدر هذه الطاقة فبتسخين الهواء وتبخير الماء تتولد أشكال من الطاقة تتحول الى حركة فى الهواء .

ودورة الرياح فى الغلاف الجوى ترجع الى أن المنطقة الاستوائية من الأرض والمنطقة الدوستوائية (ما بين خط الاستواء وخط عرض ٣٨°) تمتصان من الاشعاع الشمسى أكثر مما تشعان ، بينما تشع بقية مناطق الأرض أكثر مما تستقبل من هذا الاشعاع . وتتيجة لذلك فان الهواء الساخن فى المناطق الاستوائية يتجه نحو القطبين . هذه الحركة الرئيسية تسبب دورة الرياح فى الغلاف الجوى حول الأرض . أما مناطق الارتفاع والانخفاض ، ونظام الرياح على خرائطنا الطقسية فلا تبدو بجانب هذه الدورة سوى دوامات ضئيلة الشأن .

ويحاول علماء الأرصاد منذ ٢٠٠ عام أن يحصلوا على صورة لما يجب أن تكون عليه الدورة العامة للرياح غير أن معظم أبحاثهم لا تعدو أن تكون نظرية ، لأنه حتى فى الوقت الحاضر ليس لدينا سوى القليل من المعلومات عن طبقات الجو العليا لتخطيط الدورة

العامة تخطيطا شاملا من واقع الأرصاد المباشرة . هـذا والمحيط الهوائى الذى نعيش فيـه من الاتساع بحيث لو تقاسـمه أفراد البشرية جميعا متعاونين فى تسجيل الأرصاد كل فيمـا يخصـه لكان نصيب الفرد منهم مليونى طن من الهواء .

والآن نلقى نظرة على تطورات الصورة التقليـدية المفترضة للدورة الهوائية العامة للغلاف الجوى . ولنبـدأ بتخطيط بسيط آخذين فى حسابنا عامل الحرارة فقط . يرتفع الهواء القريب من خط الاسـتواء عاليا فى الجو ، ثم ينساب نحو القطبين الشـمالى والجنوبى حيث يبرد وينخفض ثم يتحرك بعد ذلك وهو على ارتفاع منخفض نحـو خط الاستواء . تشكل الدورة الهوائية فى هـذه المرحلة الابتدائية حلقة رأسية هائلة بين الشمال والجنوب فى نصف الكرة الشمالى ، وحلقة مماثلة فى نصف الكرة الجنوبى .

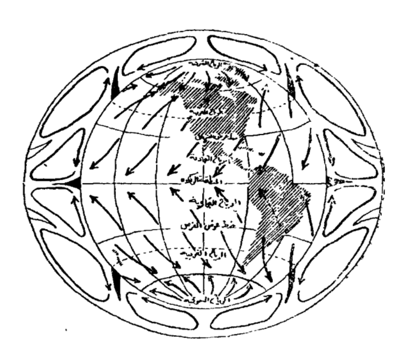
وفى المرحلة التالية نأخذ فى الاعتبـار تأثير دوران الأرض . فالهواء لا يتحرك نحو القطب فحسب ، ولكنه يتحرك أيضـا من الغرب الى الشرق تبعا لدوران الأرض . ويدور الهواء عنـد خط الاستواء بسرعة مماثلة لسرعة دوران الأرض ، وكلما اتجهنا نحو القطب نجـد أن سرعة دورانه تتزايد بسبب اقترابه من محـور الدوران ، وذلك من أجل المحافظة على بقاء كمية حركتـه الزاوية ثابتة ، ويحاكى فى ذلك تماما ازدياد سرعة الدوران لراقصة الباليه حول طرف قدمها عند ما تضم ذراعيها نحو جسدها . وعلى هذا تنشأ فى الهواء المتجه نحو القطبين فى الطبقات العليا رياح غربية ؛ أى رياح متحـركة من الغرب الى الشرق بسرعة أكبر من حركة دوران سطح الأرض . وبالعكس فان الهواء القريب من سـطح

الأرض والمتجه الى خط الاستواء تتناقص سرعته الدورانية كلما ابتعد عن محور الدوران ، فتنشأ بذلك الرياح الغربية ، حيث تقل سرعة هذا الهواء عن سرعة دوران سطح الأرض .

وبحساب سرعة هذه الرياح الشرقية والغربية يتبين أنها قد تبلغ مئات أو آلاف الكيلو مترات فى الساعة . ولكن هناك عامل ثالثا يجب اضافته الى النموذج العـام للدورة الهوائية ألا وهو الاحتكاك . فعندما يتلامس الهواء المتحرك مع سطح الأرض فان سرعته النسبية (بالنسبة الى حركة الأرض الدورانية) تقل بسبب الاحتكاك . وقوى الاحتكاك هذه وهذا التناقص فى عجـلة الهواء يغيران من الصورة التى وضعناها لحركة الهواء ، اذ تنقسم الحلقة الشمالية الجنوبية الى خليتين أو ثلاث خلايا رأسـية فى كل من نصفى الكرة ، واحـدة فوق المنطقة الاستوائية وواحـدة فوق المناطق المتوسطة وربما واحدة فى المنطقة القطبية .

والمفروض فى التخطيط التقليدى ، أن هذه الخلايا هى التى تنشأ عنهـا الرياح الشرقية الاسـتوائية (الرياح التجـارية) . ويوجد الآن دليل ثابت الى حد ما بالنسبة الى الخلية الاستوائية التى يطلـق عليها اسم خلية « هادلى » نسبة الى عالم الأرصـاد الانجليزى « جورج هادلى » George Hadley الذى افترض وجودها منذ ٢٠٠ عام . وأشار الى أن هذه الخليـة الاستوائية يمـكن أن تفسر الرياح التجـارية والرياح المضادة لهـا فوق المحيطات الاستوائية .

كذلك يوجد بعض الدليل الذى يسند وجود الخلية المتوسطة



شكل (١٢)

يبين الشكل المناطق الرئيسية لدورة الرياح فى الغلاف الجوى ، مع المبالغة الكبيرة فى قطاعها المستعرض ، كما يبين تخطيط الرياح على سطح الارض . وتحدد الاشكال السوداء الواقعة بين الخلايا مواقع مناطق الضغط حيث يتحرك الهـواء الى أعلا ، كما تحـدد الاشكال البيضاء مواقع مناطق الضغط العالى حيث يتحرك الهواء الى أسفل . ويبين خطا العرض (المنقوطان) متوسط موقعى الجبهتين القطبيتين بالتقريب. وتسمى الخليتان الاستوائيتان بخليتى « هادلى » كما تسمى الخليتان اللتان تليهمـا بخليتى « فيريل » ، نسبة الى عالمى الارصاد الجوية اللذين اكتشفاهما .

التى سميت باسـم « وليم فيريل » (William Ferrel) وهو عالم أمريكى افترض منذ ١٠٠ عام أنها موجودة .

ومنذ عهد قريب قام عالم الأرصاد الجوية الفنلندى «أ. بالمين» (E. Palmén) بادخال تعديل على نموذج الخلايا بأن استبعد الخلية القطبية بدعوى أن الدورة الهوائية فى المنطقة القطبية تكاد تكون أفقية بأكملها وعلى شكل دوامات ، ولكنه استبقى خليتى « هادلى وفيريل » (انظر شكل ١٣) . واستنادا الى الصـورة الحالية التى تدعمها تجارب المعمل باستخدام نماذج تتميز بحركة

آلية دورانية فان هذه الحلقات الرأسية والدوامات الافقية تلعب دورا هاما فى الدورة الهوائية العامة للغلاف الجوى وأثر الحلقات الرأسية أوضح عند خطوط العرض المنخفضة . والدوامات الأفقية المـذكورة عبارة عن رياح دائرية فى حجم مناطق الارتفـاع والانخفاض فى خرائطنا الطقسية . ومن المحتمل وجـود دوامات ذات أحجام مختلفة فى الغلاف الجوى ، ولـكننا لا نستطيع أن نلمس وجود الدوامات الصغيرة لأن محطاتنا عادة متباعدة جدا .

على هذا يكون لدينا نموذج مقبول يخطط حركة الهواء فى الغلاف الجوى . والآن نلقى نظرة على حمولة هذا الهواء المتحرك .

والمادة الاولى فى هذه الحمولة عبارة عن كمية الحركة المكتسبة من الأرض . فالرياح القادمة من الشرق فى اتجاه مضاد لدوران الأرض تلتقط بعض كمية حركتها الغربيـة لدى احتكاكها بها . وحيث ان الغلاف الجوى لا يحتمل أن يحدث تغييرا فى معـدل دوران الأرض فان كل ما حصلت عليه الرياح الشرقية من كمية حركة يجب أن تعيده الرياح الغربية الى الأرض . وهذا يعنى أن ما حصلت عليه الرياح الشرقية التى تسود المناطق الاستوائية والقطبية ، يجب أن تنقله الرياح الغربيـة الى خطوط العـرض المتوسطة ، حيث تعود هذه الرياح الغربية . وتشير الأدلة الحالية الى أن معظم هذا الانتقال يتم عن طريق الدوامات الأفقية أكثر مما هو عن طريق الحلقة الرأسية الشمالية الجنوبية . وتنقل أكبر كمية من الحركة الدورانية عند خط العرض ٣٠° والذى يسمى « خط عرض الفرس » . وتكاد حركة الهواء أن تكون منعـدمة عند هذا الخط قرب سطح البحـر ، بينما تهب رياح خفيفـة من الغرب قرب طبقة الأستراتو سـفير (على ارتفاع ٤٠٫٠٠٠ قدم تقريبا) .

والمادة الرئيسية الثانية فى حمولة الغلاف الجوى هى الطاقة حيث يظهر بعضها على صورة حرارة والبعض الآخر على صـــورة طاقة حركة . وكما رأينا ، فان الطاقة الواردة من الشمس تنتقل من المناطق الاستوائية نحو القطبين . ومن المـــمكن أن نحسب بصورة تقريبية كمية الطاقة التى يجب أن تنقل فى السنة . واستنادا الى أرصادنا تقوم الدوامات الأفقية بكل عملية النقل نحو القطبين ابتـــداء من خط عرض ٥٥° ولكن ليس دون ذلك من خطـــوط العرض . فمثلا عند خط العرض ٣٠° تنقل هذه الدوامات أقل من نصف الطاقة التى يجب نقلها . وليس بمقدورنا أن نفسر ســـبب هذا الفرق ، فربما توجد أخطاء فى عملية الحساب ، كما أنه من المحتمل أن تقوم حلقتا « هادلى وفيريل » بنصيب فى هذا النقل ، أو أن التيارات فى المحيطات تحمل من الطاقة أكثر مما قدرناه .

أما المادة الثالثة فى حمولة الغلاف الجوى فهى البخار . وهو فى الواقع نوع من الطاقة المنقولة لأنه يمثل الحرارة الكامنة . وبالمثل عندما نقدر كمية البخار التى تنقلها الدورة الهوائية الأفقية والرأسية نلاحظ أن الدوامات الأفقية تنقل كل الحمولة فى الخطوط العليا وليست فى الخطوط المنخفضة من خطوط العرض .

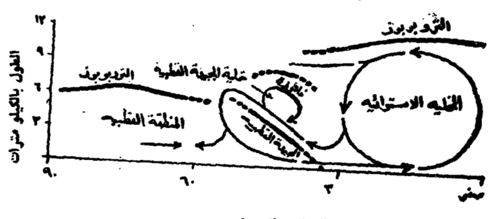
ويبدو أن هذا يؤكد الاستنتاج القائل بأن حلقة « فيريل » تقوم بدور هام فى نقل الطاقة الى القطبين . وتدل الأرصاد كذلك على أن تكثيف بخار الماء فى مناطق شمال خط العرض ٣٨° يزيد على البخر عند السطح ، بينما العكس صحيح فى المناطق جنوبى خط عرض ٣٨° ، باستثناء حزام منطقة الأمطار الاستوائية .

تتم هـــذه الدورة التى بحثناها فى طبقة التروبوسفير وهى المنطقة التى تشمل الجزء الأسفل من الغلاف الجوى حتى الارتفاع ٣٠٠٠٠ الى ٥٠٠٠٠ قدم ثم تتساءل هل توجد دورة هوائية بين

طبقة التروبوسفير والاستراتوسفير التى تعلوها ؟ ويبدو ، بصورة مبدئية ، ان وجود مثل هذه الدرة غير محتمل ، حيث ان الميـل الحرارى الحاد عند السطح الفاصل بين الطبقتين يشكل سقفافوق طبقة التروبوسفير مما يجعل حركة الهواء الى أعلى مستحيلة . غير أنه يوجد الكثير من الأدلة على أن هـواء كل من المنطقتين يختلط بعضه بالآخر . فمثلا نعلم أن الهواء حتى ارتفاع ٤٠ ميلا له نفس التكوين الغازى ، ونعلم كذلك أن الهـواء الجاف تماما فى طبقة الاستراتوسفير يتحرك الى أسفل نحـو سطح الأرض وأن الهواء الرطب الذى فى طبقة التربوسفير يتحرك الى أعلى نحـو طبقة الاستراتوسفير . وأقوى دليل حاسم على هـذا الامتزاج الرأسى ان بعض الغازات التى تتكون فى طبقة الاستراتوسفير أو تحتها بقليل ، مثـل الأوزون والـكربون ١٤ ، والبريليوم ٧ ، والأرجون ٣٧ ، تهبط الى أسـفل ويمكن ملاحظة وجـودها فى الهواء القريب من سطح الأرض .

كيف يتهيأ للهواء أن يخترق هذا الحاجز المفترض(التروبوبوز) بين طبقتى التروبوسفير والاستراتوسفير ؟ يمكننا استنباط الاجابة عن هذا السؤال من نموذج « بالمين » ففى الجانب المتجـه الى القطب من كل من حلقتى « هادلى وفيريل » توجـد فجوة فى « التروبوبوز » كما هو موضح بالشكل (١٣) . يتسرب الهواء من طبقة التروبوسفير الى طبقة الاستراتوسفير وبالعكس خلال هذه الفجوة . وعلى امتداد هذه الفجوة تهب رياح غربية أفقية سريعة . وأحد هذين التيارين هو « نافورة الجبهة القطبية » ، بينما يسمى التيار الآخر « بنافورة الجبهة الدوستوائية » .

بحثنا حتى الآن دورة الرياح فى الغلاف الجوى على أساس أنها نظامين مختلفين تماما ، أحدهما فى نصف الكرة الشمالى ،



شكل (١٣)

نموذج « بالمين » الذى يوضح الامتزاج الرأسى للهواء بين طبقـــة التربوسفير (أسفل « التروبوبوز ») وطبقـــة الاستراتوسفير (أعلى « التروبوبوز ») . وبالنموذج خلية استوائية (خلية هادلى) وخلية المنطقة المتوسطة (خلية فيريل) ، وكلتاهما تحددها تماما دورة رأسية قوية ، الا أنه لا توجد خلية واضحة ذات دورة رأسية فوق المنطقة القطبية بعكس ما هو معروف بالنموذج التقليدي الموضح بالشكل (١٢) . وفوق خلية الجبهة القطبية (التي تعتبر خلية اضافية بالنسبة لخلية المنطقة المتوسطة) يبين تيار النافورة فجوة « التروبوبوز » التى يمر الهواء خلالها بين طبقتى التروبوسفير والاستراتوسفير .

والآخر فى النصف الجنوبى . وفى الواقع يوجد تبادل فى الهــواء بين نصفى الكرة الأرضية . واستنادا الى قراءات ضغط الهــواء نلاحظ أن وزن الهواء فى نصف الكرة الشمالي هو فى الصيف أقل قليلا منه فى فصل الشتاء . وهــذا يعنى أنه لا بد وأن بعض الهواء يتدفق الي النصف الجنوبى ويتم معظم هــذا الانتقال فى فصل الربيع للنصف الشمالى من الكرة الأرضية . وعند نهــاية فصل الشتاء فى النصف الجنوبى يبدأ تدفق عكسى من النصــف الجنوبى الى النصف الشمالى .

ويأمل علماء الأرصاد الجوية أن يتمكنوا من الحصول عــلى صورة واضحة لدورة الرياح فى الغلاف الجــوى فى أثناء السنة الجيوفيزيائية الدولية . حيث يعتزمون انشاء عــدة سلاسل من المحطات تنتشر بين القطبين وربما تقع احدى هذه السلاسل بين

خطى الطول ٧٠° ، ٨٠° غربا ، فتبدأ قرب القطب الشمالى مارة بالجزء الشرقى من أمريكا الشمالية وعلى امتداد الساحل الغربى لأمريكا الجنوبية حتى المنطقة المتجمدة الجنوبية كما أن فى النية انشاء سلاسل أخرى على امتـــداد خط الطول ١٠° شرقا (أوربا وأفريقيا) وعلى امتداد خط الطول ١٤٠° شرقا(سيبيريا واليابان واستراليا) . كما أن من المحتمل أيضا أن تتصـــل هذه المحطات بعضها ببعض لتشكل سلاسل على امتداد عدد من خطوط عرض .

وسوف تحصل كل سلسلة من هذه المحطات يوميا على صورة لمقطع الغـــلاف الجوى حيث يقاس الضغط ، ودرجة الحـرارة ، والرياح عند ارتفاعات مختلفة حتى ١٠٠٫٠٠٠ قدم ، وبهذا تمتد مشاهداتنا حتى بالطبقة المتأينة ، وهكذا يحتمل ان توضح لنـــا الأشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس سبب اضطراب الجو عند سطح الأرض فى بعض الفترات .

وسوف تقوم هذه المحطات أيضا بأرصاد أخرى عديدة ، منها دراسة شدة الاشعاع الشمسى ، وقياس ثانى أكسيد الكربون ودراسة تأثيره فى تدفئة سطح الأرض . كما تقوم الطائرات يوميا بدراسات بدائية فيما اذا كان بياض الثلج والجليد والسحاب فوق مساحات واسعة يمكن أن تعتبر دليلا على التغيرات التى تطرأ على الطقس على نطاق واسع .

وقد لا تكون المشاهدات فى منطقة الجليد الجنوبية أقل أهمية فى محيط دراسات الأرصاد الجوية فالمحطات السبع المزمع انشاؤها فوق القـــارة المتجمدة ستقوم بأول عمليـــة استكشاف لطقسها . وحيث ان المنطقة المتجمـــدة الجنوبية أكثر مناطق الأرض برودة وأشدها استمرارا فى انخفاض الضغط ، فان أثرها فى الطقس فى عالمنا ربما يكون أكبر بكثير مما تصوره لنا سعتها او بعدها عنا .

الطبقة الجوية المتأينة
(الأيونوسفير)

بقلم

ت. ه. جونيه

منذ ثلاثة أرباع القرن حاول عالم الفيزياء والأرصاد الجوية الاسكتلندى « بلفور ستيوارت » (Balfour Stewart) أن يفسر التغيرات اليومية التى تطرأ على المغنطيسية الأرضية فاقترح ما بدا آنذاك فكرة بعيدة الاحتمال ، وفحواها أنه يوجد بالطبقات العليا من الجو طبقة هوائية موصلة للكهرباء ، وأن حركة هذا الهواء واختراقه للمجال المغنطيسى الأرضى تولد تيارات كهربائية ، وهذه بدورها تحدث مجالات مغنطيسنية يمكن الاستناد اليها عند التغيرات اليومية فى القياسات المغنطيسية .

ونظرا الى أن طبقات الجو العليا كانت آنذاك مجاهل لم تطرقها آلة من صنع الانسان فان ما تضمنته فكرة « ستيوارت » الرائعة لم تلق قبولا عاما . ولكن فى عام ١٩٠١ عندما أرسل « جوليلمو ماركونى » (Guglielmo Marconi) اشاراته اللاسلكية عبر المحيط الهادى وحول سطح الأرض المنحنى ، أثارت

طبقات الهواء العليا اهتماما جديدا . واقاق الفيزيائيون يفترضون أن أمواج الراديو التى تعبر الأفق تواصل مسارها خلال الغلاف الجوى فى خط مستقيم ثم تتبدد فى الفراغ . ولتفسير ارسال « ماركونى » للاشارات اللاسلكية البعيدة المدى حول الأرض أحيا كل من « آرثر كنيللى » (Arthur E. Kennelly) فى الولايات المتحدة « واوليفر هيفيسايد » (Oliver Heaviside) فى انجلترا كل على حدة ، فكرة وجود طبقة متأينة فى الجو العلوى تسبب انعكاس الموجات اللاسلكية الى الأرض .

مضى بعد ذلك ما يناهز ربع القرن دون الحصول على المزيد من المعلومات عن هذه الطبقة ، الى أن استطاع «ادوارد أبلتون» (Edward Appleton) و«م.ا.ف.بارنيت» (M. A. F. Barnett) فى انجلترا فى أواخر عام ١٩٢٤ أن يجدا دليلا مباشرا هاما على وجود هذه الطبقة المتأينة عندما أخذا قياسات دلت على أن أمواج الراديو الصادرة من محطة بعيدة عادة الى الأرض مائلة بزاوية معينة . وبعد شهور قليلة تحقق وجود الطبقة المتأينة وتحددمكانها بشكل نهائى . ففى صيف عام ١٩٢٥ قام كل من العالمين الفيزيائيين جريجورى برايت (Gregory Breit) وميرل توف (Merle Tuve) بقسم المغنطيسية الأرضية فى معهد « كارنيجى» بواشنجتن بتجربة تاريخية بالتعاون مع معمل أبحاث البحرية الأمريكية فى « البوتوماك » . أرسلت نبضات قصيرة من أمواج الراديو من مرسل فى معمل أبحاث البحرية المذكور الى السماء مباشرة . وعلى بعد ثمانية أميال استقبل « برايت » و « توف » صدى هذه النبضات بجهاز استقبال ، وسجلاها على راسم للذبذبات (وكان هذا أول اخراج لفكرة الردار) وبتوقيت هذه النبضات أمكن

حساب ارتفاع الطبقة العاكسة . وعندئذ لم يكن هناك أدنى شك فى وجود طبقة متكهربة أومتأينة من طبقات الغلاف الجوى . وكان عنوان المقال الذى نشره « برايت » و « توف » عن هذه التجربة هو « تجربة أثبتت وجود الطبقة الموصلة للكهرباء » .

والطبقة المتأينة عبارة عن رداء كثيف من الهواء المتأين ، عرف الآن أنه يتألف من أربع طبقات مختلفة ، تشغل المنطقة التى تقع بين الارتفاع ٤٥ ميلا و ٢٠٠ ميـل فوق سطح الأرض . وترجع خصائصها الكهربائية الى وجود الالكترونات الحـرة والذرات والجزيئات المتأينـة (بعضـها موجب الشحنة والبعض الآخـر سالبها) . والسبب الرئيسى لهذا التأين هو الاشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس . هذا الاشعاع تمتصه الطبقات العليـا من الجو بحيث يتعذر الكشف عنه عند سطح الأرض .

واستجابة لسيول من الجسيمات والاشعاعات القادمـة من الشمس ولقذائف الشهب ، وكذلك لجاذبية الشمس والقمر التى تحدث مدا وجزرا فى الغلاف الجوى ، فان الطبقة المتأينة تبـدو كالبحر الهائج ، فهى تتغير من ساعة لساعة ، ومن يوم ليوم ، ومن فصل لفصل ، وفى بعض الأحيـان تتعرض لعواصف كهربائيـة ومغنطيسية هائلة .

ومن وجهة الحياة العملية ، نجد للطبقة المتأينة أهمية خاصـة من الناحية التطبيقيـة والاقتصادية . فبدونها يستحيل اسـتعمال المواصلات اللاسلكية ذات المدى البعيد . غـير أن اضطرابات الطبقة المتأينة وتموجاتها تتدخل فى نفس الوقت تدخلا ضـارا بهذه المواصـلات . ففى بعض الأحيان تكون سببا فى ضـعف

استقبال هذه الأمواج فى مساحات كبيرة من الأرض ، وفى أحيان أخرى تسمح هذه الطبقة باستقبال أمواج التليفزيون لمسافات مذهلة حول الأرض .

والالكترونات الحرة فى الطبقة المتأينة هى التى تلعب الدور الرئيسى فى أثر هذه الطبقة على أمواج الراديو . فعند ما تدخل موجة الراديو الطبقة المتأينة تتأرجح هذه الالكترونات الى الأمام والى الخلف بسبب المجال الكهربائى للموجة . وكل الكترون متحرك يصبح مولدا لموجة لاسلكية لها نفس ذبذبة الموجة الساقطة . يتجة جزء من هذه الاشعاعات الجديدة الى أعلى فى اتجاه الموجة الساقطة ، وينطلق الجزء الآخر الى أسفل فى الاتجاه الذى قدمت منه هذه الموجة . وكلما تعمقت الموجة فى الطبقة المتأينة تقابل كثافة أكبر فى الالكترونات ، وهكذا تتناقص طاقة الموجة تدريجيا الى أن يقف تقدمها الى أعلى ، ولا يبقى غير اشعاعات الالكترونات المتجهة الى أسفل . وبمعنى آخر ، تنعكس الموجة الساقطة (لاتساهم الذرات المتأينة والجزيئات المتأينة الا بنصيب ضئيل فى عكس هذه الأمواج بسبب ثقلها بالنسبة للالكترونات ، مما يجعلها تستجيب بشكل ضعيف لأمواج الراديو) .

تنعكس الموجة اللاسلكية أثناء اختراقها سحابة من الالكترونات عند ما تزداد كثافة الالكترونات الطليقة فى هذه السحابة بحيث يصبح عددها فى الملليمتر المكعب الواحد مساويا ١٢٫٤ مرة قدر مربع تردد الموجة مقدرا بالميجاسيكل (مليون سيكل) لكل ثانية . فمثلا اذا كان تردد الموجة خمسة ميجاسيكل فى الثانية فانها تنعكس عند ما تكون كثافة الالكترونات ١٢٫٤ × ٢٥ أى ٣١٠ الكترون فى كل ملليمتر مكعب واحد .

وهكذا يمكن تعيين الالكترونات وكذلك ارتفاع كل طبقة عاكسة فى الايونوسفير بأن نرسل اشارات لاسلكية ذات ترددات مختلفة . وبطبيعة الحال توجد عوامل معقدة تدخل فى الحسابات ، منها المجال المغنطيسى للأرض ، والذى يجعل من الأيونوسفير وسطا تنكسر فيه الأمواج اللاسلكية انكسارا مزدوجا ، بمعنى أنه يقسم الأمواج الى مركبتين. ومن العوامل المعقدة أيضا تباطؤ الموجة اللاسلكية أثناء اختراقها لطبقة تتزايد فيها كثافة الالكترونات . يستدعى هذا التأخير اجراء تصحيح عند تعيين ارتفاع الطبقة العاكسة ، حيث أن أساس قياس الارتفاع هو الزمن الذى تستغرقه الموجة اللاسلكية باعتبار أنها تتحرك بسرعة الضوء

ويسمى الجهاز الذى يستخدم فى الكشف عن الطبقة المتأينة « بالأيونوسوند » وهو يتركب من مرسل للاشارات اللاسلكية ومن مستقبل يسجل صداها ، وكلاهما فى صندوق واحد . وعند اجراء التسجيل للحصول على ما يسمى « بالأيونوجرام » يوفق المرسل والمستقبل بسرعة للعمل فى نطاق معين من الذبذبات ، ونعرض الأصداء على شاشة راسم الذبذبات وتصور . وعندئذ تكون المسافة بين خط الأساس الذى يمثل زمن الارسال وبين المسار الذى يوضح عودة الصدى ، مقياسا للزمن الذى استغرقته الموجة ذهابا وايابا .

ويرمز لأقل الطبقات المتأينة ارتفاعا بالرمز (د) ولم يتم قياس كثافة الالكترونات فى هذه الطبقة قياسا دقيقا ، ولكن من المعلوم أنها كثافة صغيرة لأن هذه الطبقة لا تعكس الموجات التى يبلغ ترددها واحد ميجاسيكل فأكثر .

ويعلو الطبقة (د) ثلاث طبقات أخرى متأينة ، حددت ارتفاعاتها

وكثافة الالكترونات بها بدقة أكبر . هذه الطبقات هى طبقة «هـ» (وتمتد بين ارتفاع ٦٠ الى ٩٠ ميلا فوق سطح الأرض) ، ثم طبقة « و$_1$ » (بين ٩٠ ميلا ، ١٥٠ ميلا) وأخيرا طبقـه « و$_2$ » (فوق ١٥٠ ميلا) . وتتزايد كثافة الالكترونات من طبقة لأخرى . ولكنها تتغير فى الطبقة الواحدة من النهار والليل ومن فصل الى فصل . ونجد نهارا فى أكثف جزء من طبقة هـ ١٢٠ الكترون فى كل ملليمتر مكعب ، وفى طبقتى و$_1$ ، و$_2$ نجـد على الترتيب ٢٢٠ الكترونا ، ٤٥٠ الكترونا فى الملليمتر المكعب .

وتتوقف ذبذبة الموجات المنعكسة على كثافة الالكترونات . فكلما زادت كثافة الطبقة زادت ذبذبة الموجة التى تعكسها . ولهذا فان طبقة «هـ» تعكس الأمواج التى تصل ذبذبتها الى ٣ ميجاسيكل فى الثانية (مرسلة فى اتجاه رأسى) عند ما تكون أقصى كثافة لها ١٢٠ الكترون / ملليمتر مكعب . وفى هذه الحالة نقـول ان ٣ ميجاسيكل هى « الذبذبة الحرجة » . فالذبذبات التى تزيد عن هذا المقدار لا تعكسها هذه الطبقة بل تنفذ منها الى الطبقات التالية .

والتغـير فى تردد الذبذبات الحرجة التى تعكسها الطبقـات المختلفة المكونة للأيونوسفير تكشف عن التغيرات التى تطرأ عليها ، وهذا يشير الى تزايد أو تناقص كثافة الالكترونات . فالكثافة ، وهى فى الواقع مقدار التأين ، تزداد أثناء النهار عنها فى الليـل ؛ ولكنها قد تقل فى الصيف عنها فى الشتاء . وتزداد الكثافة بتزايد نشاط الكلف الشمسى فى دورة مدتها أحد عشر عاما . كمـا توجد تغيرات أخرى مرتبطة بخطوط العرض الجغرافية والمغنطيسية وبالمد والجزر الناشئين عن جاذبية القمـر والشمس ، وكذلك بالرياح القوية التى توجد فى الأيونوسفير .

والى جانب التغيرات المنتظمة نجد تغيرات أخرى عديدة أقل شأنا وتبدو غير خاضعة لنظام معين . فارتفـاع الطبقات وكثافتها تتغير من دقيقة لأخرى بشكل لا يسوده أى نظام . وبعض هـذا الشذوذ يعود الى تقلبات الرياح فى الطبقات العليا ، وبعضها ناشىء عن تغيرات الأشعة فوق البنفسجية وتيـارات من الجسيمات التى تحدث الوهج القطبى ، وكذلك الشهب التى تهاجم الأيونوسفير وتسبب الى حد كبير اضطراب المنطقة هـ : فمرور شهاب فى الطبقة المتأينة يضاعف التـأين آلاف المرات وقت مروره وان كان ذلك لا يستغرق أكثر من جزء صغير من الثانية .

وأحد أسرار للأيونوسفير الهامة هو نوع من عـدم الانتظام الذى يلازم الطبقة هـ أحيانا حيث تعكس فجأة موجات اللاسلكى التى تنفذ عادة من الأيونوسفير بأجمعه وعلى هذا فان التليفزيون الذى يحدد الأفق مداه عادة ، يمكن استقباله فى هذه الحالة على بعد مئات الأميال من المرسل .

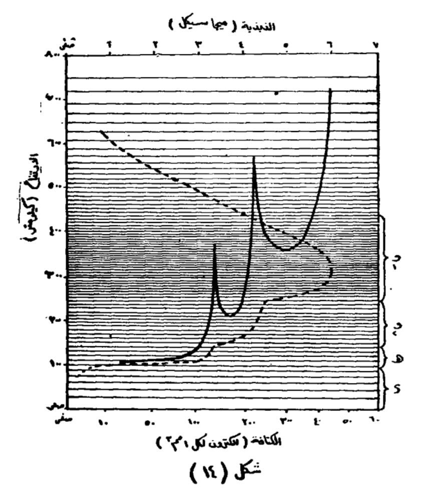
والاضطرابات الكبيرة فى المجـال المغنطيسى للأرض ، والتى تسمى أحيـانا بالعواصف المغنطيسية ، تحدث فى الأيونوسـفير تغيرات سريعة فى كثافة الالكترونات وخاصة فى المنطقة و$_{٢}$ ، كما تسبب عدم انتظام جزئى فى التركيب الطبقى للأيونوسفير . والمعتقد أن هذه الاضطرابات ناشئة عن قذائف مركزة من الجسيمات تصدر عن الشمس .

تندفع هذه التيارات المركزة من الجسيمات فى المجال المغنطيسى للأرض وتثير اضطرابات فى المجـال الأرضى ، كما تولد تيـارات كهربائية قوية تسبب تغيرات أخرى فى المجال المغنطيسى للأرض .

يشترك المجالان الكهربائى والمغنطيسى فى اثارة المناطق المتأينة وازاحة مجموعات من الأيونات ، وهكذا تطغى هذه التغيرات السريعة على العمليات المنتظمة فى انتاج الالكترونات وتجميعها واعادة توزيعها عن طريق التداخل أو الرياح ، ولذلك تتغير طبيعة الأيونوسفير تغيرا شديدا .

وتعانى طبقة الأيونوسفير تغيرا هاما نتيجة انبعاث أضواء مفاجئة من الشمس تعرف بالانفجارات الشمسية . وينبعث مع كل انفجار شمسى كمية من الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينية ، يتلوها زيادة هائلة مفاجئة فى التأين فى الطبقة د . ونظرا لتضاعف عدد الجزيئات المتأينة فان الطبقة د تمتص جزءا كبيرا من طاقة الامواج اللاسلكية المارة خلالها فيحدث ضعف مفاجىء فى استقبال الموجات اللاسلكية . وقد تستغرق المنطقة د زمنا ، يتفاوت بين دقائق قليلة الى عدد من الساعات ، لتستعيد تأينها المعتاد ، ويتوقف هذا على درجة الاضطراب وشدته .

وتتغير كثافة الالكترونات فى الأيونوسفير فتتزايد وتتناقص فى دورة تستغرق أحد عشر عاما ، متطابقة مع دورة الأحد عشر عاما للكلف الشمسى . ففى الطبقة و٢ مثلا قد تبلغ كثافة الالكترونات (مقدرة بطريقة قياس الذبذبة الحرجة للأشعة المنعكسة) عند ما يكون نشاط الكلف الشمسى فى ذروته ، ضعف كثافتها فى حالة أدنى نشاط للكف الشمسى . وواضح أن الاشعاع فوق البنفسجى والاشعاعات القصيرة يزداد مقدارها ازديادا ملحوظا عند ما يكون النشاط الشمسى فى دروته . رغم أن الاشعاع فى المدى المرئى يظل تقريبا على ما هو عليه . وحركة الطبقات العليا من



شكل (١٤)

يمكن التمييز بين الطبقات المختلفة فى الايونوسفير بقدرتها على عكس أمواج الراديو (المنحنى الاسود تدريج التردد العلوى) وبكثافة الالكترونات (المنحنى المتقطع والتدريج السفلى) . وعلى هذا فان الطبقة هـ تعكس الامواج فى حدود ذبذبة قدرها ٣ ميجاسيكل . أما الذبذبات التى تزيد على هذا المقدار فتنفذ خلالها وفى هذه الطبقة تتزايد كثافة الالكترونات تزايدا سريعا كلما زاد الارتفاع ، حتى ١٢٥ ميلا ، ثم تتزايد بعد ذلك بمعدل أقل حتى ارتفاع ١٥٠ ميلا حيث تبدأ الطبقة و . وتبلغ كثافة الالكترونات أقصاها فى الطبقة و٢ بين ارتفاع ٣٠٠ ميل وارتفاع ٤٠٠ ميل كما هو مبين بالمنحنى المتقطع ، وكذلك بتقارب الخطوط الافقية . ولم يتم قياس كثافة الالكترونات قياسا دقيقا فيما دون الطبقة هـ وفيما وراء الطبقة و٢ .

الغلاف الجوى حيث توجد الطبقات المتأينة ، تؤثر تأثيرا هاما على توزيع التأين . ووجود المجال المغنطيسى الأرضى يزيد فى تعقيد

هذا التوزيع ، اذ أن حركة الهواء المتأين خلال خطوط القوى المغنطيسية ينتج عنها مجال كهربائى . ويعرف هذا التأثير « بتأثير الدينامو » . وهذا المجال الكهربائى يؤثر بدوره على عمليات التأين فى المناطق المتخلفة من الغلاف الجوى . فحركة الهواء فى المنطقة هـ قد تولد مجالا كهربائيا يؤثر على التأين فى المنطقة و٢ . ومثل هذه التفاعلات بين الأيونوسفير والمجال المغنطيسى تكسب الأيونوسفير أنواعا من المظاهر يصعب ادراكها .

كان الجيوفيزيائيون يميلون الى الأخذ بفكرة « بلفور ستيوارت » القائلة بأن « تأثير الدينامو » للحركة المتذبذبة المتأينة فى أعالى الغلاف الجوى هو سبب التغيرات اليومية فى المجال المغنطيسى للأرض ، الا أنه مضت سنوات عديدة دون أن يكون من السهل الاقتناع بأن هذه الذبذبات يمكن أن تكون كبيرة ذات طور مناسب بحيث تفسر وجود التغيرات المغنطيسية المشاهدة . وقد وجد الجواب على ذلك فى نظرية الرنين الحديثة التى تنبأت بأن ذبذبات الجو التى يحدثها المد والجزر بسبب جاذبية الشمس ، يجب أن تظهر رنينا فترته الزمنية ١٢ ساعة . وقد أوضح «س.ل. بيكريس » (C. L. Pekeris) بانجلترا أن الحركة التذبذبية للهواء فوق ارتفاع ٢٠ ميلا يجب أن تكون فى اتجاه مضاد لحركته عند سطح الأرض ، وأن مدى الحركة يجب أن تتزايد بزيادة الارتفاع ، بحيث ان هذا المدى فى الجزء الأسفل من الأيونوسفير هو ٢٠٠ مرة قدر قيمته عند سطح الأرض . وهكذا فقد تنبأت هذه النظرية بوجود ذبذبة عند ارتفاعات مماثلة للايونوسفير لها من الطور والمدى ما يكفى لتوليد تيارات كهربائية قادرة على احداث التغيرات اليومية فى المجال المغنطيسى الأرضى .

وفى عام ١٩٣٩ وجد كل من « ابلتون » و « ك. ويكس » (K. Wecks) فى انجلترا ذبذبة فترتها ١٢ ١/٢ ساعة فى الطبقة هـ تجعل الهواء يصعد ويهبط لمسافة تقرب من ميل . وينسب مصدر هذه الذبذبة الى تأثير القمر الذى يستغرق مده وجزره فترة زمنية مساوية . وفى تسجيلات المعهد الجيوفيزيائى لطبقات الأيونوسفير فى « بيرو » اكتشف أن للقمر تأثيرا واضحا . فالذبذبة القمرية تقسم و٢ الى شطرين . وقد أوضحت تسجيلات الصدى أن الشطر العلوى من هذه الطبقة يرتفع . وتحدث هذه الظاهرة فى أثناء ساعات النهار فقط . وقد ظهر أن القمر هو سبب هذه الظاهرة . ويتضح ذلك من أن فترة تكرار تباعد الشطرين تتفق مع فترة الذبذبة القمرية للأيونوسفير .

ويمكن شرح هذا الأثر كما يلى : تولد الذبذبة القمرية للأيونوسفير مجالا كهربائيا أفقيا كبيرا فى اتجاه الشرق والغرب . يؤثر هذا المجال على تأين الطبقة و٢ فى اتجاه عمودى على اتجاه المجال المغنطيسى للأرض فيسبب حركة الأيونات الى أعلى . وفى نفس الوقت لا تزال أيونات جديدة تستحدث عند الارتفاع المعتاد بسبب الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس . وعلى ذلك ، بينما ترتفع الطبقة القديمة تتشكل طبقة جديدة تحتها . وعندما يكون صعود الطبقة القديمة سريعا الى درجة كافية يحدث الانفصال الملاحظ بين الطبقتين .

وقد استحدثت عدة طرق لتتبع الرياح وحركة الهواء المتأين فى الأيونوسفير ولعل أبسط جهاز لقياس سرعة الرياح فى الأيونوسفير هو ذلك الذى يستغل خاصية أن سطح الطبقة العاكسة يكون عادة غير منبسط تماما ويشبه سطح البحر ، وعلى

ذلك تكون الموجة المنعكسة عليه غير منتظمة ، وتختلف شدتها من مكان لآخر . وفى الطريقة المبنية على هذا الأساس ترسل الأمواج اللاسلكية فى اتجاه رأسى ويسجل صداها بوساطة ثلاثة هوائيات عند رءوس مثلث طول ضلعه حوالى ١٠٠ ياردة . فإذا كان الهواء المتأين فوقها متحركا فى اتجاه أفقى فان الشكل غيرالمنتظم للموجة المنعكسة يتحرك فى نفس الاتجاه ، وتبعا لذلك يضعف الصدى . ويتكرر نوع ضعف الصدى الذى يحدث فى هوائى عند هوائى آخر فى اتجاه الريح (مثلا بعد ثانيتين من الزمن) (انظر الشكل ١٥) . وبهذه الطريقــة يمكن تحديد السرعة واتجــاه الحركة فى الايونوسفير . وليس لدينــا ما يؤكد أن الشــكل المتحرك الذى تحصل عليه يجب أن يدل على وجود رياح ، اذ ربما يكون مجرد انعكاس حركة موجية مثل أمواج بركة الماء ، ولكن دلتالقياسات لهذه الحركة على أن لها الكثير من صــفات الرياح ، والاحتمال الأقوى أنها فعلا رياح حقيقية .

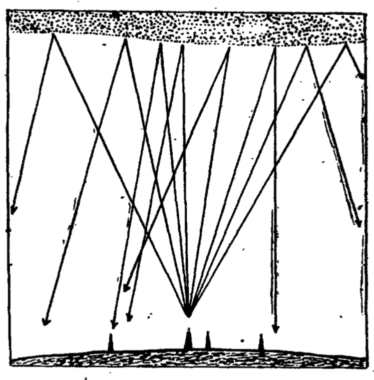
وهناك تغيير فى هذا الأســلوب يقضى بمتابعة الشكل غير المنتظم للايونوسفير بتأثيره على الضوضاء اللاسلكية القادمة الى الأرض من الفضاء الخارجى ، اذ تتغير شــدة هذه الاشــارات اللاسلكية بحركة الهواء المتأين عبر مسارها من مصدرها البعيد . ويمكن تحــديد سرعة هذه الحركة واتجاهها بأخذ تسجيلا عنــد ثلاث نقط مختلفة .

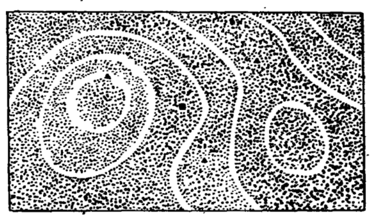
وقد استحدث « ل . أ . مانتج (L. A. Manning) و « أ . ج . ڤلارد » (O. G. Villard) و «أ . م . بيترسون» (A. M. Peterson) من جامعة « ستانفورد » طريقة طريفة ولكن أشــد تعقيد لقياس حركة الهــواء فى الايونوسفير . فهم يتابعون حــركة الشهب فى

الطبقة هـ بوساطة الرادار . فاذا سببت الرياح انحـرافا فى الأثر المتأين خلف شهاب مار منها فى اتجاه جهـاز الرادار المستقبل فان تردد الموجـة المنعكسة يزداد بنسبة سرعة الريح حسب قاعـدة « دوبلر » . أما اذا انحرف المسار بعيدا فانالتردد يقل . وتستطيع بعض الأجهزة الحساسة قياس مدى الانحراف الناشىء عن تأثير « دوبلر » ، حتى ولو كان زمن المسار جـزءا من الثانية . وتتفق النتائج المستخلصة بهذه الطريقة مع نتائج طريقة ضعف الصوت . وخلال نيف وخمسين عاما التى انقضت على تجربة « مركونى » تطور اسـتغلال خاصـية عكس الأيونوسفير للأمواج فى خدمة المواصلات اللاسلكية البعيدة المدى تطورا كبيرا وسار قدما فى طفرات واسعة .

وفى هذه الأيام نلاحظ أن نطاق الذبذبات التى يمكن عكسها على الايونوسفير قد أصبح مزدحما الى درجة أن عددا كبيرا من المحطات قد أخـذت تتداخل الواحدة منها فى الأخرى . وأحـد أغراض أبحاث الايونوسفير فى المعاهد مثل معهد المقاييس الأهلى هو الحصول على معلومات أساسية عن أفضل الطرق للاستفادة

من طيف الراديو المتوفر . وبالطبع من المهم معـرفة الحد الأعلى للتردد الذى يمكن عكسه بوساطة الايونوسفير . كما أن البيانات عن التأين التى توضح توزيع كثافة الالكترونات ضرورية لهـذا الغرض . وتوجد الآن ٧٥محطة فى أنحاء العالم (باستثناء الموجود منها فى الستار الحديدى) تقوم بمتابعة التغيرات فى الايونوسفير وتدير الولايات المتحدة أو تساعد فىالاتفاق على ١٩ محطة وكل محطة تقوم بتسيجيل الأيونات مرة على الأقل فى كل سـاعة من ساعات اليوم . تجمع المعلومات من هذه السجلات وترسـل الى





شكل (١٥)

يمكن التعرف على رياح الايونوسفير من التغيرات فى شدة أمواج الراديو المنعكسة من السطح الاسفل الثائر للايونوسفير (أعلى الرسم) . والتغيرات فى شدة الامواج المنعكسة ، كما نشاهدها باستقبالها بثلاثة هوائيات موزعـة عند رءوس مثلث ، يتضح شكلها على جهاز الاستقبال ، ويتحرك تبعا لحركة رياح الايونوسفير سرعة واتجاها .

مركز تحليل المعلومات حيث يستفاد من النتائج فى التنبؤ بالنهاية العظمى للترددات التى يمكن استخدامها .

ويقوم مكتب المقاييس الأهلى بعمل خرائط من هذا القبيل كل شهر . وتبين هذه الخرائط النهاية العظمى للتردد الذى يمكن استخدامه عند خطوط العرض الجغرافية المختلفة ، والوقت المحلى المناسب لهذا الاستخدام . ويمكن تطبيق كل واحدة من هذه الخرائط على الارسال فوق مسافة معينة والانعكاس من طبقة معينة . كما يمكن استنباط مثل هذه المعلومات بالنسبة لمسافات أخرى بوساطة معادلة رياضية نشرت فى مقال حديث .

ويركز برنامج الايونوسفير فى السنة الجيوفيزيائية الجهد للحصول على سجلات منتظمة خاصة بالايونوسفير من أكبر عدد ممكن من المحطات المعتمدة . سيكون هناك ثلاث سلاسل باتجاه الشمال والجنوب على امتداد خطوط الطول ١٠° شرقا (أوربا الغربية ــ أفريقيا الغربية) ، ١٤٠° شرقا (اليابان ــ استراليا) ، ٧٥° غربا (جرينلاند ــ أمريكا الجنوبية). وسيبذل مجهودخاص لانشاء محطات قرب خط الاستواء المغنطيسى لدراسة طبقة و٢ عند هذه المناطق . وستنشأ سلسلة من المحطات فى الاتجاه الشرقى ــ الغربى للكرة الأرضية حول خط الاستواء ، ومجموعة من المحطات فى منطقة الوهج الشمالى ، ومجموعة أخرى من المحطات فى قارة المتجمدالجنوبى . وسوفتنشأ محطة فى القطب الجنوبى . فأى تغيرات هناك فى الايونوسفير مرتبطة بدوران الأرض يمكن أن تنسب الى عدم تماثل المجال المغنطيسى للأرض ، أو الى عدم التماثل فى دورة الهواء فى الغلاف الجوى ، حيث ان زاوية ميل

أشعة الشمس لا تتغير فى أثناء النهار . وسيكون من المفيد حقا أن نعرف الى أى مدى يتم الاحتفاظ بالايونوسفير عند القطب خلال مدة تقارب ستة أشهر حيث لا تصل أشعة مباشرة من الشمس الى طبقة الايونوسفير .

وقياس امتصاص الايونوسفير للأمواج اللاسلكية يعد من المشروعات ذات الأفضلية الأولى للسنةالجيوفيزيائة . فمحاولات قياسهاكانت أقل نجاحامن محاولات قياس توزيع كثافةالالكترونات. وتوجد طريقتان رئيسيتان لقياس هذا الامتصاص ، تتوقف احداهما على مقارنة شدة الموجة التى انعكست مرتين (رحلتان دهابا وايابا بين الأرض والايونوسفير) بصدى موجة انعكست مرة واحدة فقط . فالفرق فى الشدة بين صدى الموجة التى انعكست مرة واحدة وتلك التى انعكست مرتين يعتبر مقياسا للامتصاص الذى عانته الموجة التى قامت بالرحلتين فى أثناء رحلتها الثانية (مع عمل حساب الطاقة المفقودة فى انعكاسها على الأرض ، وحساب الزيادة فى المسافة التى تقطعها) . والطريقة الأخرى لدراسة خصائص الامتصاص فى الايونوسفير تتوقف على قياس التغير فى شدة الأمواج اللاسلكية القادمة من الفضاء الخارجى .

ومن البرامج التى أحسن تخطيطها وتنفيذها نأمل أن تتمكن من تنمية معلوماتنا عن هذا العالم الذى نعيش فيه ، وذلك فضلا عن الفوائد الاقتصادية المترتبة على زيادة كفاءة استغلالنا لهذه الطبقة من الهواء المكهرب فوق رءوسنا .

●

الوهج القطبي والوميض الجوي

بقلم

س. ت. ألفي

وفرانكلين ى. روش

عبر السماء الشمالية المظلمة يبدأ الأفق يومض بضوء خافت مائل الى الاخضرار . ثم لا يلبث هذاالشريط من الضوء أن تشتد اضاءته يرتفع فىالسماء على شكل قوس يمتـد من الشرق الى الغرب . وبينما يتحرك هذا الضوء نحو الجنوب يظهـر المزيد من هذه الأشرطة ، وبهذه الكيفية تزداد اضاءةالسماء تدريجيا ويتبدد ظلام الليل ، وبعد ذلك تتفكك هذه الأشرطة فجأة وتمتلىء السماء كلها بالأشعة المتحركة بسرعة ، وبالسطوح الضوئية التى تنطوى حينا وتنفـرد حينا آخر ، فى لون أخضر يشـوبه أحيانا اللونان الأحمر الفاتح والأرجوانى . واذ يرقبالمرء هذا المشهدمن الأرض يشعر بأنه غارق فى خضم من الأضواء الخلابة المختلفة .

ومن بين الظواهر الطبيعية جميعها ، تبدو ظاهرة الوهج أبعدها عن الواقع والوصف . فما كنهها ؟ وما سـببها ؟ وهل يمكن أن

يسبغ عليها شكل أو مظهر فيزيائى ؟ وهل يمكن تحليلها وقياسها وتحديد مكانها أو تحديد أبعادها ؟ الجواب عن ذلك بالطبع هو نعم ، وكل هـذا ممكن . وان بعض الأسئلة التى كانت تراود الجنس البشرى حول الأضواء الغريبة فى الشمال والجنوب يمكننا الآن الاجابة عنها ، وان كان لا يزال أمامنـا الكثير لنتعلمه عن هذه الظاهرة .

ويعتقد معظم الفلكيين والفيزيائيين أن سبب الوهج القطبى هو جيوش من الجسيمات المشحونة القادمة من الشمس الى الأرض ، يأسرها المجال المغنطيسى للأرض ويحملها نحو القطبين المغنطيسيين. وهذا يفسر سبب تعدد حـدوث الوهج عند القطبين الشـمالى والجنوبى . وعندما تخترق البروتونات الغلاف الجوى تتحد مع الالكترونات لتنتج ذرات الايدروجين . وهذا الاتحاد يتولد عنه ضوء . ولما كان هذا الاشعاع هو ضوء الايدروجين فان ذلك يدل على أن البروتونات تتساقط على الغلاف الجوى فى الطور الأول من ظاهرة الوهج . أما الاطوار المتأخرة عن هذه الظاهرة ، وخاصة عندما تنفصل لتكون الأشعة ، فيبدو أن مردها حزم الالكترونات المتساقطة . وعلى هذا فالعمليـة التى تؤدى الى حـدوث الوهج القطبى ــ وهـو اثارة ذرات وجـزيئات الغـلاف الجوى لدى اصطدامها بالجسيمات المنهمرة ــ تشبه الى حد كبير ما يحـدث داخل مصابيح النيون .

وتميل أشعة الوهج الى أسفل نحو الأرض على امتداد خطوط القوى المغنطيسية التى توجه الجسيمات المشحونة . وهى لا تصل الى الأرض بالطبع . وتدل الصور الفوتوغرافية التى أخذت للوهج القطبى من محطات مختلفة على أنه ينتهى عند ارتفاع ٦٠ ميلا من

سطح الأرض . ويمكن مشاهدة قاعدة الوهج على بعد ٦٠٠ ميل من النقطة التى تحتها مباشرة على سطح الأرض . ويختفى الوهج فيما وراء ذلك لانحناء سطح الأرض .

وتتيجة لأرصاد استغرقت حوالى قرن من الزمان ، توجد الآن خرائط وافية تحدد مساحات الأرض التى يمكن مشاهدة الوهج فيها ، والتى يكثر حدوثه عندها . وهذه الخرائط مبنية على خطوط العرض الهندسية . فالقطبان المغنطيسيان لا يقعان عند القطبين الجغرافيين . ويقع القطب المغنطيسى الشمالى فى شمال غرب جرينلاند . وتقع المنطقة التى يكثر فيها حدوث الوهج فى حزام يمتد الى ٢٣° من القطب المغنطيسى فى كل من نصفى الكرة الأرضية . ففى النصف الشمالى تمتد هذه المنطقة فى « ألاسكا » بين «بوينت بارو» و « فيربانكس » ، وعبر « كندا » حتى الطرف الجنوبى من « جرينلاند » ، وكذلك فوق الطرف الشمالى من النرويج والسواحل الشمالية لروسيا وسيبيريا . وفى المنطقة بين خطى عرض ٦٠° ، ٤٥° المغنطيسيين يمكن مشاهدة الوهج من حين لآخر . وحدود هذه المنطقة تشمل تقريبا «سان فرانسيسكو» ومدينة « أوكلاهوما » و « ممفيس » و « اتلانتا » و « جزر الازور » وشمال ايطاليا والأجزاء الجنوبية من الاتحاد السوفيتى وطرف شبه جزيرة « كامشاتكا » . أما فى جنوبى خط عرض ٤٥° فلا يشاهد الوهج الا فى العواصف المغنطيسية الناشئة عن اضطرابات عنيفة جدا فى المجال المغنطيسى الأرضى .

ومن المعلوم أن احتمال ظهور الوهج يكون أكبر ما يمكن فى شهرى مارس وسبتمبر . وسواء كان ذلك يرجع الى عدم

استقرار الغلاف الجوى الأرضى أو الى أن حزامى الكلف الشمسى الشمالى والجنوبى يتجهان نحو الأرض فى هذا الوقت ، فان هذا موضع جـدل . ولكن من الحقائق المسلم بها أن تكرار حـدوث الوهج يرتبط الى حد بعيد بدورة نشاط الكلف الشمسى .

وتجرى الآن أبحاث عديدة فى معهد الفيزياء الأرضية التابع لجامعة « ألاسكا » فى مدينة « كوليج » بجوار « فيربانكس » حول حدوث الوهج فى سماء ألاسكا . وفى الفترة ١٩٥٣ ــ ١٩٥٤ (وهى فترة كان فيها النشاط الشمسى فى نهايته الصغرى تقريبا) ظهر من حين لآخر بعض الوهج فوق مدينـة « كوليج » ، رغم أن المجال المغنطيسى كان هادئا تقريبا . أما فى الأيام التى تهب فيها العواصف المغنطيسية فان نشاط الوهج يستمر فوق المدينة لفترة تستغرق ٥٢ ٪ من الزمن الكلى للمراقبة .

ان مشـاهدة الوهج فى أوج نشـاطه أمر مثير حتى بالنسبة للراصد الذى ألف هذه الظواهر . فحركاته وتغير أشكاله وألوانه تتخذ أسلوبا متنوعا الى حد يعجز عنه الوصف . وقد يسهل متابعة سيرك ذى ثلاث حلقات عن متابعة الوهج الذى ينتشر فوق رؤوسنا ويملأ السماء من حولنا .

وبينما لا تمثل الأشعة والشرائط الضوئية المتحركة فى هذه المرحلة الا مشهدا مثيرا بالنسبة للرجل العادى ، فان رجل العلم يجد فى الأشكال الهادئة للوهج أهمية كبرى . فالسماء تغطيهـا شرائط ضـوئية هائلة تمثل فيضـا من البروتونات أحالها المجال المغنطيسى للأرض الى حزم رفيعة الى حد كبير . فشريط الوهج لا يتجاوز سمكه فى بعض الأحيان ٨٠٠ قدم . ومع ذلك فان هذا

الشريط يمتد على مدى البصر من الشرق الى الغرب عبر الأفق الى ١٢٠٠ ميل أو أكثر ، ولا يعلم أحد الى أى مدى تمتد هـذه الأقواس . وأحـد برامج السنة الجيوفيزيائية الدولية سيخصص لمعرفة المدى الذى تمتد اليه شرائط الوهج حول الكرة الأرضية .

وفى مدينة « كوليج » ، التى تقع قرب منتصف أكثر الأحزمة نشاطا فى نصف الكرة الشمالى ، لا نرى أنواع الوهج العظيمـة فحسب ، بل نشاهد أيضا معظم أنواع الوهج الأقل شأنا . وقد بذلت الجهود لرصد الوهج على مقياس كبير من محطات خمس منتشرة فى أنحاء ألاسكا . وتقع هذه المحطات عند « كوليج » ، و « نورث واى » على الطريق الرئيسى لألاسكا قرب الحـدود الـكندية ، وفى « شـيب ماوتتن » شرقى « أنكوريج » ، وفى « نوم » بشبه جزيرة « سيوارد » . وأخيرا فى « بوينت بارو » التى تقع فى الطرف الشمالى لألاسكا .

ولشرح تطورات ظهور الوهج كما تشاهد من ألاسكا نأخذ على سبيل المثال ما انتهى اليه رصد الوهج فى ٢٦ ــ ٢٧ مارس عام ١٩٥٤ . أخذت المحطات الخمس فى التسجيل طوال الليل . ففى الساعة ٨٫٤٠ مساء ظهر شريط من الضـوء المتجانس عبر الجزء الشمالى الشرقى من المنطقة عند خط العرض ٧٠° تقريبا . وفى الساعة ٩ مساء كان الشريط قد تقدم تدريجيا نحو الجنوب حتى خط العرض ٦٨ ° . وبعد مضى نصف ساعة أخرى أصـبح عدد الأقواس المضيئة أربعة بين خطى العرض ٦٧° ، ٧٠° ثم ازداد عدد هذه الأقواس وكان الشريط الضوئى الذى يتقدمها وقتئذ الى الجنوب متجانسا ، فى حين تخللت الأقواس الأخرى أشـعة مستعرضة . وفى الساعة ١٠٫١٥ مساء كان عدد الأقواس المشاهدة

ثمانية ، يقع أقصاها نحو الجنوب عند خط العرض $\frac{1}{2}$ ٦٢° . وبعد ذلك بفترة وجيزة ظهر ما نسميه « بالانقسام الكاذب » ــ وهو تشتت أحد الأقواس الشمالية وانبعاث شعلات وقتية من الضوء مصحوبة بنشاط عنيف ، ولكن سرعان ما عادت هذه التشكيلات الى وضعها الأصلى . وبعد منتصف الليل بقليل تشتتت مجموعة الأقواس ، واشتد لمعان القوس الجنوبى ، وبدا كأنه يهتز على طول امتداده ، وفى ثوان قليلة امتلأت سماء ألاسكا شمال خط العرض ٦٢° بالأشعة والشرائط والسطوح الضوئية . وكانت جميعا تتحرك حركة عنيفة . وبعد بضع دقائق تشكلت الى سطوح متذبذبة ، وفى الساعة الواحدة صباحا اختلطت جميع السطوح بعضها البعض ، وفى الساعة الثالثة صباحا تحول الوهج الى مجرد قناع متداخل ومحصور فى المنطقة بين خطى عرض ٦٦° ، ٦٨° . ثم أخذ هذا القناع فى الاضمحلال تدريجيا الى أن وضح النهار .

وللأجهزة العديدة التى استخدمت فى دراسة الوهج القبطى فائدة كبرى . وأحد هذه الأجهزة عبارة عن آلة لتصوير السماء أعدها « س. و. جارتلين » (C. W. Garthein) لتسجيل الوهج . استخدم « جارتلين » آلة تصوير سينمائية مقاس ١٦ مم تتجه الى أسفل نحو مرآة محدبة كى تصور ما تعكسه هذه المرآة من صورة شاملة للسماء ، وبذلك تمكن من مراقبة السماء بصفة مستمرة ، ومن هذه الأجهزة أيضا المطياف الذى يحلل ضوء الوهج ويدلنا على أنواع الذرات والجزيئات الموجودة فى الجو . وكذلك درجة حرارتها ومقدار الطاقة التى تشعها ، وبعض طرق اثارتها . غير أن سرعة تغير الوهج وخفوت ضوئه كان سببا فى صعوبة استخدام المطياف . ولكن تطور أساليب البحث فى

النرويج وكندا والولايات المتحـدة الأمريكية جعل من الممكن الحصول على أشكال طيفية جميلةللوهج ، فشمل الجزء المرئىمن الطيف وكذلك الجزء القريب من الأشعة فوق البنفسجية ودون الحمراء ، وخلال دراسة « أ . ب . ماينل (A. B. Meinel)وزملائه فى مرصد «يركس» للأطياف فى تجاربهم عنقذف الغازات الجوية عند ضغط منخفض ، استدلوا على أن نشاط الوهج يرجع الى البروتونات فى طور الوهج الشريطى والى الالكترونات فى طور تجزئة هذه الأشرطة . كمـا اكتشف « كينيت باولز (Kenneth Bowles) فى كوليج دليلا على هذا الفارق الرئيسى للوهج وهو فى شكل متجانس أو على هيئة أشعة . فبدراسة الاشـارات اللاسلكية المنعكسة منالوهج اتضح وجود ازاحات فى ترددها ــ ظاهرة « دوبلر » . فعند ما تنعكس الاشـارات اللاسلكية من الأشرطة المتجانسة تكون الازاحة فى الناحية الدالة على أن حركة الجسيمات نحو الأرض . أما الاشارات المنعكسة على الوهج على هيئة أشعة فقد دلت على وجود الكترونات صاعدة الى أعلى .

يعتبر اللاسلكى والرادار من الأدوات المفيدة جدا فى دراسة الوهج . فجهاز الرادار لا يرى بالضـبط ما تراه العـين أو آلة التصوير ، ولكنـه يتميز بالقـدرة على اكتشاف الوهج خلال السحاب أو فى ضوء النهار . كما أن الفلك اللاسلكى ذو فائدة كذلك . وكما أن اضطرابات الهواء الجوى تجعل النجوم المرئية تتلألأ ، كذلك فان اضطرابات الوهج فى الجو المشحون بالكهرباء تجعل النجوم التى تكشف عنها أجهزة الفلك اللاسلكية تتلألأ . وباجراء تجارب دقيقة يمكن تقدير حجوم وحركات الاضطرابات فى منطقة الوهج . وبالاضـافة الى ذلك ظهـر أن منطقة الوهج

تمتص مقدارا ملموسا من ضوضاء الراديو القادمة من الفضاء الخارجى .

وقد ظهرت محاولات عديدة لقياس مقدار الوهج أو شدته . ويستعمل المعهد الجيوفيزيائى فى « كوليج » الآن « فوتو متر » كهرو ـ ضوئى لقياس اضاءة السماء أثناء انتشار الوهج . وتتم هذه القياسات فى جزء صغير من الطيف المرئى حيث أمكن التعرف على ضوء الوهج ، مثال ذلك خط الوهج الأخضر . وتدل هذه القياسات على أن الوهج يضاعف من اضاءة السماء فى الليل بمقدار عشرة أمثال فى المتوسط . وعند ما تحدث زيادة هائلة فى شدة الوهج تتضاعف اضاءة السماء مائة مرة .

ولدراسة الوهج فى السنة الجيوفيزيائية عدة أهداف منها . عمل خرائط آنية لتوزيع انتشاره فوق الكرة الأرضية ، وخاصة لتحديد حدوث الوهج فى المناطق القطبية الشمالية والجنوبية فى آن واحد . ومن بين الأهداف أيضا دراسة علاقة الوهج بالنشاط الشمسى وبالعواصف المغنطيسية والظواهر الأرضية الأخرى . كذلك دراسة العمليات الفيزيائية التى تتبع الوهج وقياس حجم الوهج نفسه . وسيدرس بامعان مدى تكرار الوهج بعمل احصاء فوق مساحات صغيرة مختارة على سطح الأرض ،ولتكن درجة مربعة مثلا (أى ما يناهز مساحة مربع ضلعه ٦٩ ميلا) .

تباشر هذه الدراسات سلاسل من المحطات المزودة بمعدات التصوير التى سبق ذكرها ومحطات الرادار ، ومراكز لقياس الطيف (ومن بينها معمل مجهز فى طائرة ومزود بمنظار لرصد سماء المنطقة) ، وكذلك تلسكوبات لاسلكية ومراصد ومجموعات

أخرى منوعة . وسوف يستعين الباحثون أيضا بتقارير من المراقبين الهواة للوهج ، وخاصة فى المناطق التى تندر رؤية الوهج فيها . وعند احتمال ظهوره فى المناطق المشار اليها ستوجه نداءات عامة . ويقع المركزان الأمريكيان لتجميع وربط كل الأرصاد فى « ايتاكا » بنيويورك وفى « كوليج » .

ويرتبط بدراسات الوهج ارتباطا وثيقا مشروع لدراسةظاهرة سماوية هامةأخرى تسمىالوميض الجوى. فالسماء مليئة بوميض خافت ليلا ونهارا ، هذا الوميض لا تراه العين ، غير أننا ندرك وجوده بالآلات الحساسة . وعدم رؤيته يرجع أولا الى أنه خافت الى حد كبير ، وثانيا لأن أكثر اشعاعاته شدة يقع خارج الطيف المنظور . ولو كانت أعيننا حساسة للأشعة دون الحمراء لرأت الوميض فى سماء الليل أشبه ما يكون بضوء الشفق .

وكما هى الحال بالنسبة للوهج فان سبب تكون الوميض هو اثارة الذرات والجزيئات فى الغلاف الجوى . وينشأ الوميض فى الظاهر عند نفس الارتفاع الذى يتولد عنده الوهج . ويبدو أن وميض النهار ووميض الليل يتولدان نتيجة عمليات مختلفة . ويصعب على وجه الخصوص تفسير وميض الليل . ويكاد يكون من المؤكد أن المصدر الرئيسى لطاقة وميض الليل هو الشمس . ولكن من الصعب أن تتصور نوع العملية التى تحول جانبا من طاقة الشمس التى تغمر الأرض باستمرار الى وميض الليل . ولو عرفنا كنه هذه العملية لزودنا ذلك بمعلومات ذات أهمية كبرىعن الطبقات العليا للغلاف الجوى .

١٠٠,٠٠٠

١٠,٠٠٠

وهج ساطع جداً

١٠٠٠

١٠٠ وهج ساطع

الوهج الليلى بدأ

١٠ وهج متوسط

وهج

الحد المنظور

متوسط الوهج الليلى

٠,١

٠,٠١

يبين الجـــدول اللمعان النسبى لكل من الظواهر الجوية المختلفة .
واشعاعات الوهج الليلى بالجزء المنظور من الطيف تكون عادة خافتة جداً
فلا يمكن رؤيتها .

اكتشف الوميض الجوى لأول مرة منذ عشرات السنين . فقد وجد الفلكيون دواما أن فى طيف السماء اشعاعا أخضر ، لا يمكن أن يكون مصـــدره النجوم أو الكواكب . ونظرا الى أن هـــذا الاشعاع الأخضر صـــادر بالتأكيد من الغلاف الجوى ، ولأنه هو نفس الخط الأخضر الذى يشاهد فى الوهج فقد أطلق على هـــذا الوميض اسم « الوهج الدائم » ثم أعيد تسميته فيما بعـــد باسم الوميض الجوى .

وقد تم التحقق من وجود أربعـــة أطوال موجية محددة فى الوميض الجوى : أحدها هو الخط الأخضر الذى طول موجتـــه ٥٥٧٧ أنجستروم ، وينبعث من ذرات الأكسجين المثارة وثانيها هو الخط الأحمر الذى طول موجتـــه ٦٣٠٠ أنجستروم وينبعث أيضا من ذرات الأكسجين فى درجة أخرى من الاثارة . أما ثالثها فهو الأصفر الذى طول موجته ٥٨٩٣ أنجستروم ويولده الصوديوم ، والرابع اشعاع قوى فى المنطقة دون الحمراء عند الطول ١٠٫٠٠٠ أنجستروم ، وينبعث من ذرات الهيدروكسيل (يدأ) . ولو كان هذا الاشـــعاع الأخير مرئيـــا لكان فى شـــدة اضـــاءة الوهج . والاشعاعات التى فى الجو المرئى من الطيف تقل شدتها كثيرا عن الحد الأدنى الذى تحس به العين ، ولو أنه فى بعض الأحيان يشتد الوميض الى درجة تستطيع معها العين المعتادة على الرؤية فى الظلام أن تحدد بصعوبة بعض التفاصيل فى ضوء الوميض الليلى .

وقد ظفر الوميض الجوى بجانب كبير من الدراســـة المركزة خلال السنوات العشر المنصرمة . وفى مقـــدورنا الآن أن نناقش خصائصه بشىء من التفصيل . الا أنه لا يتيسر بطبيعة الحال ادراك وجوده . وقد سجلت خطـــوطه الطيفية باستعمال أجهزة ممتـــازة

لتحليل الطيف ، عرضت للوميض لمدة طويلة (فى كثير من الأحيان عدة ليال) .وباستعمال فوتومترات كهروضوئية ومكثفات تمرر الألوان النقية جدا وتستبعد الاشعاعات المحيطة القادمة من الفراغ الخارجى ، أمكن دراسة تغيير شدة الوميض الجوى بتغير الزمن وكذلك بتغير مكانه فى السماء .

وقد بينت هذه الدراسات أن الوميض الجوى أضعف مايكون عند السمت ، أى أعلى الرأس ، وتزداد شدته كلما انحدرنا فى السماء نحو الأفق الى أن تصل شدة الوميض الى ذروتها عند ارتفاع ١٠ درجات فوق الأفق . وهذا أمر متوقع اذا لاحظنا أن الكاميرا تنظر خلال طبقات متزايدة السمك من الغلاف الجوى كلما انحدرنا من السمت الى الأفق . وازدياد شدة الوميض تبعا لذلك يدل على أن الوميض ينشأ فى الغلاف الجوى . ويمكن تقدير ارتفاع الوميض عن سطح الأرض من ملاحظة ازدياد شدته نحو الأفق . والدلائل المتوافرة بين أيدينا تدل على أن هذا الارتفاع يتراوح بين ٦٠ ميلا ، ١٢٠ ميلا .

هذا ويميل اللون الأخضر فى الوميض الى أن تزداد شدته فى ساعات المساء وتقل شدته بعد منتصف الليل . بينما تقل شدة اللون الأحمر الذى يصدر بدوره عن ذرات الأكسجين فى ساعات المساء وتزداد شدته قليلا قبيل الفجر . وهذه الحقيقة تبدو غريبة بالنسبة لما نعرفه عن ذرة الأكسجين . فعندما ينبعث من ذرة الأكسجين الاشعاع الأخضر (٥٥٧٧) تظل الذرة فى حالة اثارة يبعث بعدها الاشعاع الأحمر (٦٣٠٠) . وتستمر فى حالتها هذه مدة ١١٠ ثوان تهبط بعدها الى المستوى الأدنى التالى من الطاقة

وعندئذ تشــع الأحمر (٦٣٠٠) . وواضــح أنه لا بد من مؤثر فبزيائى فى أعالى الجو يتدخل فى الفترة ١١٠ ثوان فيقلل من طاقة ذرات الأكسجين قبل أن تشع الأحمر (٦٣٠٠) ، وربما قلت طاقة الذرات بسبب تصادمها مع ذرات أخرى . ويشبه هذا الوضع كرة البيسبول عند ما يقذف بها الى ســطح مدرج النظارة . تتدحرج الكرة من فوق الســطح وتهبط الى النظارة ومن ثم تنحــدر بين المقاعد فى الملعب ، ولكن كل من يلم بلعبة البيسبول يعلم أن فرصة عودة الكرة الى الملعب منعدمة عمليا ، اذ أنها تصطدم بعقبات مادية عديدة أو أجسام بشرية ثم تستقر عادة فى جيب طفل .

وتطلق ذرات الصوديوم الطاقة التى تنتج اللون الأصفر المميز للصوديوم . وتنطلق تلك الطــاقة بســهولة الى درجة أن هــذا الاشعاع يمكن الاســتدلال عليه مهما كانت كميــة الصوديوم الموجودة ضئيلة . وتبعا لهذا فانه بالرغم من أن الغــلاف الجوى العلوى لايحتوى الا على ذرة واحدة من الصوديوم بين كل مليون مليــون ذرة من ذراته فان الاشــعاع الأصــفر المميز للصوديوم والموجود فى الوميض يكون عادة بنفس شــــدة اللون الأخضر والأحمر اللذين يطلقهما الأكسجين . ولعل أغرب مظهر من مظاهر أشعاع الصوديوم فى الوميض الجوى هو تفاوته من فصل لآخر . ففى أواخر الخريف يكون اشعاع الصوديوم فى خطوط العــرض الشمالية أشد لمعانا من اشــعاع الأكسجين ، ولكنــه فى منتصف الصيف يكون من الضعف بحيث لا يمكن ادراك وجوده فى كثير من الأحيان . وقد اقترح بعضهم وجود سحابة كبيرة من الصوديوم فى أعالى الجو تقضى الشــتاء فى الخطوط المتوســطة والصيف فى المناطق الاستوائية .

وقد اكتشف اشعاع (يد ا) فى الوميض الجوى (وجد أولا فى المنطقة دون الحمراء وأخيرا وجد بصورة أقل وضوحا فى الجزء المرئى من الطيف) ، وكان اكتشافه دافعا الى دراسة مصدر اشعاع الوميض . والمعتقد أن اشعاع (يدا) ينشأ من تصادم ذرات الايدروجين بجزيئات الأوزون التى تنتج (ا٢) وحالة مشاره من (يدا) وأحد الافتراضات الوجيهة كذلك وجود عدد من التفاعلات الضوئيةالكميائية التى يمكنأنتنشأ عنها ظاهرة الوميضالجوى. وهناك فرض فحواه أن الوميض الليلى هو تفريغ كهربائى يجرى على نطاق واسع فى أعالى الجو ويشبه التفريغ الذى نشاهده عادة وعلى نطلق صغيرقرب سطحالأرض فىأثناء العواصفالكهربائية.

والوميض الليلى هو جانب من الوميض الجوى ، اذ يوجد أيضا وميض الشفق وهو أشد من وميض الليل مائة مرة تقريبا ، ولكن تتعذر على العين رؤيته لأن السماء تكون أشد اضاءة . واذا كان الوميض الليلى لم يستدل عليه بعد فان وميض الشفق ليس كذلك . فهو أشد ما يمكن عند ما تكون الشمس منخفضة عن الأفق بمقدار ٨ أو ١٠ درجات ، وعندئذ نجد أن أكثر أشعة الشمس انخفاضا تعبر الغلاف الجوى عند ارتفاع ٦٠ ملا فوق الراصد وعندئذ يلمع الخط الأحمر (٦٣٠٠) الصادر من الأكسجين وكذلك الأصفر الصادر من الصوديوم ، أما الأخضر (٥٥٧٧) الصادر من الأكسجين فتضعف شدته . ولا يمكن الشك فى أن وميض الشفق انما ينشأ عن أشعة الشمس التى ترفع ذرات أعالى الجو الى مستويات الطاقة التى تكفى لانتاج الاشعاع المشاهد .

وحيث ان الشمس تنتج مباشرة وميض الشفق فلا شك أنها

تنتج أيضا الوميض النهارى . وطبيعى أنه لا يمكن الاستدلال على وجود الوميض النهارى بسبب شدة اضاءة السماء ، ولكن من الممكن تسجيله بوساطة أجهزة علمية يحملها صاروخ الى أعالى الجو حيث تكون السماء سوداء لوجود عدد قليل نسبيا من الجسيمات التى تستطيع تشتيت ضوء الشمس . وقد أطلق عدد قليل من الصواريخ ولكن لم يتحقق بعد تماما وجود اشعاعات الوميض الجوى .

وقد رسمت خطة لعمل أرصاد واسعة النطاق فى أثناء السنة الجيوفيزيائية الدولية للوميض الجوى ، وقد تم تنسيق برامج هذه الأرصاد مع دراسات الوهج القطبى ، وقد أعدت لذلك سلاسل من محطات المراقبة .

ظاهرة الصفير

بقلم

ل. ر. أ. ستورى

أين ينتهى الغلاف الجوى وأين يبدأ الفراغ ؟ ومم يتركب الهواء العلوى ؟ وما هى درجة حرارته ، وما هى كثافته ، وما هى صفاته الفيزيائية ؟

لقد تم الكشف عن طبقات الغلاف الجوى تماما حتى ارتفاع ٢٠٠ ميل بواسطة موجات اللاسلكى كما أوضح « جوتببه » فى فصل سابق .و لكن ما وراء ذلك من الغلاف الجوى لا يزال مجهولا الى حد كبير . فالطبقة الجوية المتأينة (الايونوسفير) يقل سمكها الى درجة تصبح عندها غير قادرة على عكس أمواج الراديو الينا . ولا يوجد لدينا جهاز يستطيع التعرف على كنه المناطق الخارجية . ولكن اتضح حديثا أنالطبيعة نفسها دائبة على سبر غور الغلاف الجوى الخارجى بشكل نستطيع معه أن نتتبعه ، ومن هنا تبدأ قصة هذا الفصل من الكتاب .

تبدأ قصة ظاهرة الصفير برصد عرضى فى ميدان القتال فى أثناء الحرب العالمية الأولى حينما حاول العالم الفيزيائى «هينريش باركهاوزن» (Heinrich Barkhausen) (مكتشف تأثير باركهاوزن المغنطيسى) خلف الخطوط الألمانية أن يسترق السمع لنمحادثات التليفونية بين الحلفاء فى الميدان بجهاز فذ بسيط : ثبت « باركهاوزن » قضيبين معدنيين فى الأرض وتفصل بينهما بضع مئات من الياردات واذا بتيارات كهربائية ضعيفة متسربة الى الأرض من الأسلاك التليفونية للحلفاء تسرى بين هذين القضيبين، فقام بنقل هذه التيارات الى مكبر حساس ، وبذلك تمكن « باركهاوزن » من الاستماع الى المحادثات التليفونية بواسطة سماعات الرأس . وفى أثناء استراقه السمع صادفه من آن لآخر صفير غريب كان يطغى تماما على المحادثات التليفونية العسكرية . وقد اهتم بهذه الظاهرة الى درجة أنه ذكرها فى احدى نشراته : « سمعت درجة ملحوظة من الصفير فى التليفون ، وقد عزى هذا الصفير الى صوت قذف القنابل فى الجبهة » .

كان أول رد فعل عند « باركهاوزن » هو أن هذا الصفير قد صدر عن جهازه . ولكن عند ما فشلت كل المحاولات لاقصائه ثبت فى روعه أن مصدر هذا الصفير هو الغلاف الجوى ، وكان محقا فى ذلك . ثم انقضت بعد ذلك سنوات عديدة قبل أن تحظى هذه الظاهرة بالمزيد من الاهتمام ، أو أن يدرك أحد مدلولها .

ان اشارات الراديو الجوية التى تأتى فى أثناء العواصف القريبة على شكل ضوضاء هى أمر مألوف ، ولكن الصفير الذى سمعه « باركهاوزن » لم يكن فى نطاق الأمواج التى تستعمل فى الارسال

العادى . فقد كانت عبارة عن اشارات ذات تردد منخفض طويلة الموجة دون أدنى تردد اذاعى . ويعلم مهندسو اللاسلكى الآن أن دون هـذا الطرف من طيف الاذاعة اللاسلكى تسمع أنواع من الضوضاء الغريبة المنوعة ، وكلمة يسمع هنا تؤدى المعنى ، لأن تردد هذه الأمواج هى من الانخفاض بحيث أنها تقع فى متنـاول السمع المباشر أى فى مدى السمع البشرى . ولذلك نحتاج فقط الى أبسط الأجهزة لتتبعها : هوائى لالتقاط الذبذبات الكهربائية الجوية ، ومكبر صوتى كالذى يستعمل فى الجراموفون لتحويل الذبذبات رأسا الى صوت .

وماذا نسمع عند ما يعمل هذا المكبر ؟ نسمع فى الغالب نقيرا كالذى يظهر فى موجات الاذاعة . ولكن من حين لآخر يتاح لنـا أن نسمع ضوضاء موسيقية نسبيا تتفنن فى تسميتها بأسماء ترتبط بما تحاكيه هذه الأصوات . فيوجدصوت يشبه «صلصلة النقود» وهو نغمات قصيرة معدنية تحدث من ارتداد الأمواج بين الأرض والايونوسفير . كما يوجـد « كورس الفجر » ، وهى ضوضاء لا يمـكن تفسيرها وتحـدث فى أثنـاء العواصف المغنطيسية ويوجد كذلك « صفير باركهاوزن » .

تهبط درجة نغمـة الصفير مبتدئة من النهـاية العظمى لمدى السمع ، ويكون هبوطها سريعا فى أول الأمر ، ثم تهبط ببطء عند الذبذبات المنخفضة . ويتضاعف طول موجة النغمة عدة مرات فى مدى ثانية أو اثنتين (كلما قلت الذبذبة زاد طول الموجة) .

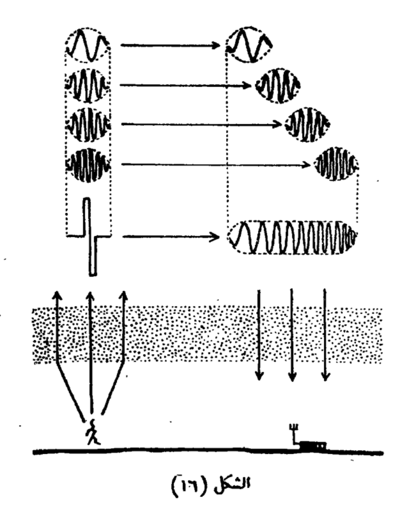
وقد درس كل « أ.ت. بيرتون » (E. T. Burton) ، « أ.م. بوردمان » (E. N. Boardman) فى معامل شركة « بل » للتليفون،

وكذلك « ت . ل . اكرسـلى » (T. L. Eckersley) فى شركة ماركونى للتلغراف اللاسلكى فى انجلترا ، ظاهرة الصفير الى حد ما فى السنوات ما بين ١٩٢٠ ، ١٩٣٠ . وقد لاحظ هؤلاء الباحثون أن الصفير يتبع غالبا (وليس دائما) « تقـيرا » جويا حادا بمدة ثانية أو ما يقرب منها . وكان مصدر النقير نفسه وقتـذاك أمرا يكتنفه الشك ، ولكنه كان على أى حال طريقا حافزا الى الدراسة . وكان يبـدو أن الصـفير ان هو الا صدى للنقـير منعكس من الايونوسفير . ومن ثم السؤال : كيف يمكن أن يتحول النقـير الى صفير ؟.

وقد توصل « باركهاوزن » و« اكرسلى » ، كل على انفراد ، الى تفسير أثبتت التجارب صحته فيما بعد . فقد كان من الواضح أن النقير يتركب من عدد من الترددات المختلفة ، حيث ان النقير الواحد يمكن سـماعه على أى موجـة من موجات الارسال ، وبالتأكيد فى نطاق الأمواج الصوتية كذلك . وكان من المعـلوم أيضا أن أمواج الراديو ذات الترددات المختلفـة تسير بسرعات مختلفة فى الايونوسفير . ولنفرض أنه فى أثناء اختراق النقير لطبقة الايونوسفير ، تحللت مركباته ذات الترددات المختلفة ، فالترددات العالية تسير أسرع بينما تتأخر الترددات المنخفضة . فعندما يسير النقير مسافة كبيرة تتباعد مركباته وتصل الى المستمع تباعا بحسب ترددها وسرعاتها الأمر الذى يشكل صفيرا تهبط درجته بانتظام (انظر شكل ١٦) .

وقد قام ايكرسلى بصياغة هذا العرض فى صورة معـادلات وأرقام . وأدخل فى حسابه أن نوعا معينا من اشارات الراديو يمر

فى الأيونوسفير دون أن ينعكس وأن سرعة هذه الاشارات لا بد أن تهبط $\frac{1}{3}$ أو أقل من سرعتها الأصلية ، كما أن سرعتها لا بد أن تتوقف على عدة عوامل : ترددها ، واتجاه سيرها بالنسبة للمجال المغنطيسى للأرض ، وشدة هذه المجال ، وكثافة الالكترونات فى المناطق التى تعبرها .



الشكل (١٦)

يسمع التفريغ الكهربى الجوى (بأسفل اليسار) فى محطة الاستقبال (بأسفل اليمين) على شكل نقير (موجة مستطيلة كالمبينة بواسطة الرسم من جهة اليسار) مكونة من أطوال موجات مختلفة وعديدة . تنتقل الموجات القصيرة فى الايونوسفير (الجزء المظلل) بسرعة أكبر من سرعة انتقال الموجات الطويلة (بأعلى اليمين) ، وينشأ عن تلك صفير (وسط الجزء الايمن) يسمع أخيرا فى نفس محطة الاستقبال .

واذا أخذنا فى الاعتبار عامل التردد فقط فان سرعات الموجات من هذا النوع خلال الأيونوسفير يجب أن تتغير بنسبة الجذر التربيعى للتردد . فمثلا : موجة ترددها أربعة أمثال تردد موجة أخرى يجب أن تسير بسرعة ضعف سرعة الأخيرة ، مع بقاء العوامل الأخرى ثابتة . وعلى ذلك ، ففى حالة النقير الذى يعبر مسارا معينا فى الأيونوسفير فان سرعات مركبات تردده يجب أن تتوفر بينها علاقة الجذر التربيعى البسيطة . وهذا يعنى أن الزمن اللازم كى تقطع هذه الترددات المختلفة هذا المسار يجب أن يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لهذه الترددات .

وللتأكد من صحة هذه التنبؤات يلزمنا فقط أن نستخدم جهاز تحليل الترددات لنفرق بين تردد المركبات المختلفة للنقير ، وأن نتأكد من أن زمن وصول عدد من هذه الترددات عقب النقير يخضع للنسبة المفترضة . وقد وجد « ايكرسلى » فعلا أنها تخضع تماما لها .

والسؤال الهام التالى هو : ماطول المسار الذى يقطعه الصفير؟ والجواب بالطبع يتوقف على مقدار تشتت الترددات : (أى المدى الذى تستغرقه نغمة الصفير) . ولكن من المستحيل أن نحصل على تقدير دقيق للمسافة المقطوعة من هذه الناحية ، لان التشتت يعتمد أيضا على متوسط كثافة الالكترونات ، وعلى شدة المجال المغنطيسى فى المسار ، وهذه كميات غير معلومة وعلى العموم نستطيع أن نحسب بصورة مبدئية أقل مسافة يقطعها الصفير : فباستبعاد أثر المجال المغنطيسى ، وبفرض أقصى كثافة ممكنة للالكترونات فى مسار الصفير (أعلى كثافة لطبقات الايونوسفير) يمكننا أن نحسب طول مسار الصفير الذى يبين مقدارا نموذجيا

من التشتت . والجواب المذهل هو ١٥٠٠٠ ميــل . والظاهر أن الصفير يمتد الى ما وراء ما كان يعتقد أنه حدود الغلاف الجوى للأرض .

وعندما بدأت فى دراسة الصفير بمعمل « كافندش » بجامعة كبمردج عام ١٩٥٠ كان يبدو أن هناك مسألتين هامتين : أولا ، ما هو مصــدر النقير ؟ وثانيا ، أين يمتــد المسار وكيف تنعكس الموجات عند طرف هذا المسار ؟

كان واضحا فى ذلك الوقت أن هناك احتمالا كبيرا أن يكون مصدر النقير هو البرق . ولدراسته استعنا بجهود مكتب أرصاد وزارة الطيران البريطانية . ولهذا المكتب منظمة تستطيع تحــديد مكان العواصف البرقية بدراســة الاحــوال الجوية . وله أربع محطات متفرقة فى أنحاء المملكة المتحدة لتحديد مصــدر النقير الجوى . وقد أعددنا ترتيبا بحيث تتلقى اشارة تليفونية فى اللحظة التى يحدد فيها موضع النقير . وسجلنا هذه الاشارات ولاحظنا ما اذا كان يتلوها صفير . ورسمنا خريطة تحدد مواضع النقير ، وفيما بعد تمكنا من ربط العلاقة بين شدة ارتفاع صوت كل صفير وبين المسافة بين مصدر النقير وجهاز الاستقبال .

وقد أوضحت هذه الأرصاد وتحليل أشكال الموجات ، بما لا يقبل الشك ، أن مصدر النقير هو لفحات البرق . وقد التقطنا صفيرا حادا صادرا من عاصفة برقية تبعد عنا بمسافة ٦٠٠ ميل . ومن مراكز أرصاد امتدت بعيدا لاحظنا أن شدة الصفير أخذت تضعف بانتظام الى أن انعدم استقبالنا له على بعد يزيد على ١٢٠٠

ميل . وبمعنى آخر لم تتمكن من التقاط صدى للنقير الذى قد ينشأ على بعد يزيد على ١٢٠٠ ميل .

كان هذا أمرا غريبا . فقد كان المرء يتـوقع أن تنتشر هذه الموجات الى مسافات أكبر . ومع ذلك فها هنا أمواج سـارت مسافة لا تقل عن ١٥٠٠٠ميل . وبعد أن تقطع هذه المسافةالكبيرة تعود على شكل صدى يمكن استقباله فى مساحة لا يزيد نصف قطرها على ١٢٠٠ ميل . ما هى العملية التى تحدث فى الغـلاف الجوى فتجمع هذه الأمواج على تلك الكيفية ؟

لنحاول أن نتتبع رحلة الموجة . عندما يحـدث البرق تتولد أمواج لاسلكية تنتشر فى كل جهة ، ويذهب بعضها الى أعلى نحو الايونوسفير . وعندما تعبر هذه الأمواج اللاسلكية الحاجز بين الهواء العادى والمنطقة المتأينة تنحنى كما ينكسر شـعاع الضوء عنـدما يعبر الحاجز بين الهواء ووسط آخر . ومهما كانت زاوية سقوط الأمواج على الايونوسفير فان كل هـذه الأمواج تنحنى نحو العمود الرأسى . وكما لاحظنا فان للايونوسفير قدرة ملحوظة على كسر الأمواج (تثبيطها) الى درجة أن كل الاشعة القـادمة من كل الزوايا تتركز فى حزمة ضيقة رأسية .

وفى أثناء الصعود فى الايونوسفير لا تستمر هذه الحزمة من الطاقة فى الاتجاه الرأسى ، وانما تتبع خطـوط المجال المغنطيسى للأرض لأنه المسار الذى تسير فيه الأمواج بسرعة أكبر . ويمتد النقير فى مساره ويتحول الى صفير .

واذا كان صحيحا أن الصـفير يتبع خطا من خطـوط القوى

المغنطيسية للأرض فاننا نعلم بعض الشيء عن نهاية مساره فمن سطح الأرض فى انجلترا يمتد خط القوة المغنطيسى نحو الجنوب حول الكرة الأرضية ، فيعبر خط الاستواء المغنطيسى على ارتفاع ٧٠٠٠ ميل ، ثم يهبط الى الأرض ثانية فى نصف الكرة الجنوبى ، فالصفير الذى يتبع هذا المسار قد ينعكس على الأرض ويعود فى نص المسار الى المنطقة التى صدر منها فى انجلترا

نعود بهذه الفكرة الى سجلاتنا ومراكز أرصادنا . وفى ضوء ما لدينا من البيانات يمكننا أن نحصل على ما يؤيد هذا التعليل . فنجد أولا أن من الحقائق المحيرة أن الصفير فى بعض الأحيان يسمع دون أن يسبقه تقير . ونستطيع الآن أن ندرك أن هذا الصفير يأتينا مباشرة من نصف الكرة الجنوبى ؛ ليس نتيجة لصدى، وانما رحلة مفردة لاشارة عن برق حدث فى النصف الجنوبى ، أما النقير نفسه فانه لا يسمع لانه يمتص فى أثناء رحيله فى المناطق السفلى من الغلاف الجوى قبل أن يصل الينا وأذا كان الصفير قد قطع رحلة مفردة فى الايونوسفير فان امتداده يكون مساويا نصف امتداد الصفير الذى يسبقه تقير (الذى يقطع الرحلة ذهابا وايابا) ، وقد أيدت القياسات هذا التنبؤ .

ثانيا : لوحظ منذ البداية تقريبا أن النقير المفرد فى بعض الأحيان لا يتولد عنه صفير واحد فحسب ، بل سلسلة من الصفير يضعف كل منها ويطول امتداده بالنسبة لسابقه ، وتتابع بينها فترات زمنية متساوية وقصيرة ، ومن الواضح أنها رجع لنفس الصدى ، يرتد ذهابا وايابا بين نصفى الكرة الأرضية ، مثل كرة التنس . تلك حقيقة يؤيدها ما نلاحظه من أن مدى الصفير الذى

يتوالى يتناسب مع عدد الرحلات التى قطعها كل منها . فعنـــدما يعقب الصـــفير تقير كانت نسبة التشتت فيما بينها ٢ : ٤ : ٦ : ٨ وعندما لا تسمع تقيرا (دلالة على أن مصدر الاشارة هو النصف الآخر من الكرة الأرضية) كانت النسب ١ : ٣ : ٥ : ٧ .

وفى تجربة مباشرة أجريت فى الصيف الماضى ، استقبل الصفير فىأثناء ارتداده ذهاباوايابا بوساطةراصدينوحدا زمن تسجيلهما ، ويقع كل منهما عند أحد طرفى خط قوة مغنطيسى (احـــدهما فى جزر « اليوشن » ، والثانى فى « نيوزيلاند ») ، وفى كل رحلة متتالية وجد أن الصفير قد امتد بالمقدار الذى كان منوقعا .

أما المفـــاجأة الكبرى فهو ما يحدثنا به الصـــفير عن ارتفاع الغلاف الجوى الذى لا بد أن يصل الى ٧٠٠٠ ميل على الأقل ، أى أكبر بعدة مرات مما كان فى اعتقادنا . فقد كان المفروض أن الغلاف الجوى الذى لابد أن يصل الى ٧٠٠٠ ميل على الأقـــل ، من تشتت الصفير أنه عند ارتفاع ٧٠٠٠ ميل تصل الكثافة الى ٤٠٠ الكترون فى كل سنتيمتر مكعب .

وهذا قد يعنى عدة أمور . اذا افترضنا أنهذه الالكترونات تأتى من تأين الغازات المعروفة فىغلافنا الجوى (اكسجين وأزوت) فانه لكى يتم هذا التأين يجب أن تكون درجة حرارة الغـــلاف الجوىالخارجى ٧٠٠٠° وهو رقم كبير لدرجة لا بمكن تصديقها. وقد افترض « ج . و . دنجى » (J. W. Dungey) بجامعة بنسلفانيا بدلا من ذلك أن هـــذه الالكترونات ربما أتت من أماكن خارج الغلاف الجوى ، وأن الأرض فى أثناء سيرها فى الفـــراغ تلتقط ذرات أيدروجين متأينة بها بوساطة المجالالمغنطيسى . وتدل بعض

التقديرات الحديثة على أن الفضاء المحيط بمدار الأرض يحتوى على ٦٠٠ ذرة أيدروجين فى كل سنتيمتر مكعب وبهذا تبدو نظرية « دنجى » معقولة ، لأن الامر لم يحسم بعد .

والشيء الوحيد المؤكد هو أن الصفير لا يزال يدخر لنا الكثير من المعلومات . وفى السنة الجيوفيزيائية القادمة سوف يستمع المراقبون فى جميع أنحاء العالم الى هذه الرسالات الغريبة القادمة من الفضاء الخارجى .

●

حافــة الفضــاء

الأقمار الصناعية (١)

منـــذ بدء الخليقة والانسان يتطلع الى السماء فيبهره تلألؤ النجـوم والكواكب فيها ويسحره جمالها ، فاتخــذ منها آلهة واسترشد بها فى رحلاته البحرية والبرية واستمد منها العون فى تنظيم مواسم زراعته واحتفالاته . وتقدمت المعرفة وتغيرت نظرته الى تلك الأجرام السماوية فشغف بدراسة تحركاتها وعلاقاتهـا بعضها ببعض ، وتعلم منها الكثير . وكانت المعلومات التى حصل عليها الانســان من تأمله فى السماء وما تحويه من أجـرام هى الأسس التى بنيت عليها العلوم الحديثة ، فمنها وضعت أسس الفلك والميكانيكا وقياس الزمن .

وكان طبيعى ، والأمر كذلك ، أن يراود الانسان حلم الانطلاق الى تلك العوالم والتحرر من القيود التى تربطه بالأرض التى قدر له أن يكون أسيرها ، حفزه الى ذلك حبه للاستطلاع ، فلم يثنه عنه القيود التى كبلته بها الطبيعة ليكون أسير الأرض ، بل جعــل يفكر فى تحطيم تلك القيـــود ، فاخترع الطائرة وارتفع بهـــا فى

---

(١) نظرا لما طرا على هذا الموضوع من تطورات جدت بعد تاليف الكتاب قام الاستاذ الدكتور سيد رمضان هدارة بكتابة هذا الفصل مجملا فيه آخر المعلومات عن الاقمار الصناعية .

الجو . لكنه ما لبث أن أدرك أنه لا يمكنه أن يتحرر من سلاسله بمثل هذه الوسيلة ، فالطائرة يلزمها الهواء لكى يحملها وهى تطير ويريد الانسان أن يجوب الفضاء متنقلا من كوكب الى آخر ، وهذا الفضاء خلو من الهواء . اذ أن الغلاف الجـوى للأرض ينتهى عند ارتفاع صـغيرة جـدا بالنسبة للمسافات الشاسـعة التى تفصـل الكواكب بعضها عن بعض عندئذ اتجـه الانسان بتفكيره الى ناحية أخرى وهى تسيير مركبة فضاء لا تتطلب وسطا ماديا (هواء) لتسبح فيه ، فاخترع الصواريخ التى كان لانطلاقها دوى هائل فتح عيـون العالم على مبلغ قوة المحركات النفـاثة والمحركات الصاروخية بنوع خاص .

والفـكرة الأساسية فى حركة الصواريخ هى رد الفعـل ، أى قانون نيوتن الثالث للحركة الذى ينص على « لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد فى الاتجاه » وكذلك قانون بقاء كمية التحرك الذى ينص على « كمية تحرك أى مجموعة منعزلة ثابتة لا تتغير » فتستمد الصواريخ قوة اندفاعها عن طريق طرد غازات ساخنة فى صورة تيار شديد الاندفاع ، ويقابل القوة التى يندفع بها ذلك التيار رد فعل فى الاتجاه المضاد يدفع الصاروخ بسرعة هائلة بحيث تكون كمية تحرك الصاروخ مساوية لكمية تحرك الغازات التى انبثقت منه ومضادة لها فى الاتجاه ، وذلك لكى تجعل القيمة النهائية لكمية تحرك المجموعة صفرا كما كانت قبل اندفاع الغاز منها . وعلى ذلك فتزداد سرعة الصاروخ كلمـا ازدادت السرعة التى يندفع بها التيار الغازى .

وتتوقف السرعة النهائية للصاروخ عندما يستهلك جميـع وقوده على عاملين ، أولهما السرعة التى يندفع بها التيار الغـازى

وثانيهما النسبة بين وزن الصاروخ عند الاقلاع ووزن ما يتبقى منه عندما ينفذ جميع الوقود ، ويمكن كتابة العلاقة بين هذين العاملين على الصورة التالية :

$$\text{ع}_{\text{ن}} = \text{ع}_{\text{ا}} \, \text{لوه} \, \frac{\text{ك}_{\text{ا}}}{\text{ك}_{\text{ن}}}$$

$$\text{أو} \quad \frac{\text{ك}_{\text{ا}}}{\text{ك}_{\text{ن}}} = \text{هـ}^{\frac{\text{ع}_{\text{ن}}}{\text{ع}_{\text{ا}}}} = 2{,}718^{\frac{\text{ع}_{\text{ن}}}{\text{ع}_{\text{ا}}}}$$

حيث $\text{ع}_{\text{ن}}$ هى السرعة النهائية للصاروخ ، $\text{ع}_{\text{ا}}$ سرعــة اندفاع التيار الغازى ، $\text{ك}_{\text{ا}}$ الكتلة الابتدائية للصاروخ ، $\text{ك}_{\text{ن}}$ كتلة الصاروخ بعــد نفاد جميع الوقــود ، هـ أساس اللوغاريتم الطبيعى وتساوى ٢٫٧١٨ .

فلمضاعفة السرعة النهائية ، اذن ، يلزم ان تضاعف سرعــة اندفاع التيار الغازى أو تربع نسبة الكتلة .

وزيادة سرعة اندفاع التيار الغازى من المسائل الكيميائيــة والحرارية والتعدينية التى يجرى فيها البحث الآن وقــد أمكن الوصول حتى الآن الى سرعة تبلغ حوالى ٣ كيلو مترات فى الثانية وهى قيمة تؤدى الى سرعة نهائية للصاروخ قدرها ٣٫٥ كيلو متر فى الثانية اذا كانت كتلة الوقود تبلغ ٨٠٪ من الكتلة الكلية . هذا باهمال تأثير الجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء الا أن هذه السرعة لا تكفى لأن يفلت الصاروخ من تأثير الجاذبية الأرضية ، اذ لكى يفلت الصاروخ من هذا المجال يجب أن تبلغ سرعته ١١٫٢ من الكيلو متر فى الثانية .

واذا بلغت سرعة الصاروخ خارج الغلاف الجوى الأرضى سرعة الافلات انطلق فى مسير قطع مكافىء وأفلت من مجال الجاذبية الأرضية الى مالا نهاية . أما اذا اكتسب سرعة تتراوح بين ٩ر٧ ، ٢ر١١ من الكيلو متر فى الثانية فى الاتجاه غير العمودى على سطح الأرض وخارج الغلاف الجوى فانه يتبع فى مسيره قطعا ناقصا تكون الأرض فى احدى بؤرتيه ، ويستمر فى حركته فى هذا المدار حول الأرض مادام المدار بأجمعه خارج الغلاف الجوى أما اذا بلغت سرعة الصاروخ ٩ر٧ من الكيلو متر فى الثانية دار حول الأرض فى مدار دائرى ، وفى كلتا الحالتين الأخيرتين تواصل القذيفة دورانها فى فلكها حول الأرض وتسمى فى هذه الحالة « قمرا صناعيا » .

ولكى يستمر القمر الصناعى فى دورانه فى فلكه حول الأرض يجب أن يكون المدار بأكمله خارج الغلاف الجوى الأرضى حيث تنعدم مقاومة الهواء أو تكاد ، تلك المقاومة التى تعمل على الانقاص من سرعته وسحبه نحو الأرض ، وتتوقف الفترة الزمنية التى يمكن أن يقضيها القمر الصناعى فى مداره داخل الغلاف الجوى الأرضى على ارتفاع المدار عن سطح الأرض وكثافة القمر الصناعى ، فالأقمار الأكثف تبقى فى مداراتها مدة أطول . ولقد بينت الحسابات أن الارتفاع اللازم لكى يستمر القمر الصناعى فى دورانه حول الأرض الى ما شاء الله يجب ألا يقل عن ٥٠٠ كيلو متر فى حين أن القمر الصناعى الذى يدور على ارتفاع ٣٢٠ كيلو مترا فوق سطح الأرض يبقى فى مداره خمسة عشر يوما . أما اذا كان ارتفاع المدار ١٦٠ كيلو مترا بقى القمر الصناعى فى مداره مدة لا تزيد على الساعة .

ومن الممكن حساب السرعة اللازمة لحفظ القمر الصناعى فى مداره بسهولة ، الا أنه بالاضافة الى هذه السرعة ، يجب أن يزود الصاروخ بالطاقة الكافية لحمله الى ارتفاع المدار المطلوب ضد مجال الجاذبية الأرضية ، وتتراوح السرعة اللازمةللصواريخ بعيدة المدى بين ٥ و ١٠ كيلو مترات فى الثانية ، أما اذ أريد للصاروخ أن يدور حول القمر ويعود الى الأرض فيلزم أن تكون سرعة الانطلاق من الأرض ٢٤ كيلو مترا فى الثانية . ولا يمكن الوصول الى هذه السرعة فى مرحلة واحدة ، لكن الطريقة المتبعة هى أن يبنى الصاروخ من مجموعة من الصواريخ تنطلق على مراحل فتزداد السرعة فى كل مرحلة عن سابقتها وينتهى الأمر بجسم صغير نسبيا (هو الكبسولة التى تحمل الأجهزة أو الركاب) ينطلق بالسرعة المراد الوصول اليها . ومن الضرورى فى هذه الحالة توقيت المراحل المختلفة توقيتا دقيقا للغاية . أى انه ينبغى حساب اللحظات التى ينطلق فيها الوقود فى المراحل المتتابعة من الصاروخ بدقة بالغة . فيجب ان تبدأ المرحلة فى نفس اللحظة التى ينفذ فيها وقود المرحلة السابقة بالضبط ، فاذا تقدم الانطلاق عن هذه اللحظة تأخر انفصال الجزء المفروض انفصاله ، اذ لا يكون وقود المرحلة السابقة قد تم نفاده ، ويكون لايزال فعالا فى تزويد الصاروخ بالعجلة فى اتجاه الحركة ، أما اذا تأخر الانطلاق التالى عن تلك اللحظة تسبب ذلك فى تناقص السرعة وربما عمل توقف انطلاق تلك المرحلة نتيجة للقوى التى تنشأ وتعمل على سحب الوقود بعيدا عن متناول المضخات الساحبة له .

وأغلب الأقمار الصناعية التى أطلقت حتى الآن حملت على صواريخ ذات ثلاث مراحل ويمكن حساب النسبة بين كتلة القمر

الصناعى والكتلة الكلية للصاروخ قبل انطلاقه من المعادلة السابقة فاذا أردنا ان تكتسب المرحلة الأخيرة فى صاروخ ذى ثلاث مراحل سرعة نهائية تساوى ثلاثة أضعاف سرعة افلات الغاز (٣ كيلو مترات فى الثانية فى احسن الأحوال) لزم أن تكون سرعة الانطلاق فى المراحل الثلاثة مساوية لسرعة افلات الغاز وهذا يتطلب طبقا للمعادلة السابق ذكرها أن تكون النسبة بين الكتلة الابتدائية للمجموعة وكتلة الجزء المتبقى بعد نفاد الوقود فى كل مرحلة مساوية ٢ر٧٢ : ١ أى انه اذا أريد أن يكون وزن المرحلة الأخيرة طنا واحدا فيجب أن تكون كتلة المجموعة فى بداية المرحلة الثالثة ٢ر٧٢ من الطن وبالتالى تكون كتلة المجموعة فى بداية المرحلة الثانية ٤ر٧ والكتلة الابتدائية فى بداية المرحلة الأولى ١ و ٢٠ من الطن ، هذا ويلاحظ اننا أهملنا فى حسابنا تأثير الجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء فى انقاص السرعة النهائية ، واخذ هذين العاملين فى الاعتبار يزيد من الوزن الابتدائى للمجموعة . وتتراوح أوزان الأقمار الصناعية التى أطلقت منذ اكتوبر ١٩٥٧ (سبوتنك ١) حتى الآن بين ٥ر١ كيلو جرام و ٥٠٠ر٣ طن تقريبا .

ويتوقف زمن دورة القمر الصناعى حول الأرض على سرعته وبعده عنها ويمكن حسابه ببساطة فى حالة المدار الدائرى من المعادلة .

$$ز = \frac{٢ ط ر}{ع}$$

حيث ز زمن الدورة ، ر بعد المدار عن مركز الأرض ، ع سرعته الدائرية .

واذا دار القمر الصناعى فى مدار يبعد عن سـطح الأرض بمسافـة ٣٥٩٠٠ كيلو متر فانه يتم دورته فى نفس الزمن الذى تأخذه الأرض فى اتمام دورتها حول محورها ، وعلى ذلك فيبدو للراصد على الأرض أنه ثابت فى مكانه كأنه مثبت فى أعلى برج غير مرئى . ولعلنا ندرك التطبيقات المفيدة لهذا القمر « الساكن » لو تم النجاح فى تنفيذه ، فمما لا شك فيه انه سوف يفيدنا فى الأغراض الملاحية وقد يصلح كمحطة ارسال تليفزيونية اذ انمدى ارسال التليفزيون يتوقف كما نعلم على ارتفاع هوائى الارسال .

هذا ويمكن أيضا تسيير مجموعة من هذه الاقمار وتجميعها فى مدارها لتكون محطة فضاء كبيرة تصلح مراصد ومعامل أبحاث تتوفر فيها ظروف لا يمكن الوصول اليها عند سطح الأرض فهناك الحرارة الشديدة والبرودة المطلقة والفراغ التام ـ تلك الظروف التى طالما تاق الانسان الى توفرها لاستكمال دراساته للظواهـر الطبيعية والبيولوجية .

ولجعـل القمر الصناعى يدور فى مـدار ما يجب أن يزود بالسرعة العالية الكافية لجعله يدور فى هذا المدار . الذى يجب ان يكون بأكمله خارج الغلاف الجوى اذا أريد أن يبقى القمر الصناعى فى هذا المدار . ومن الممكن نظريا أن يكون هذا المدار دائريا والأرض فى مركزه أو قطـع ناقص والأرض فى احـدى بؤرتيه ، الا أنه نظرا لصعوبة التوجيه فى الوقت الحاضر ، فتوجه الأقمار الصناعية حاليا لتدور فى قطاعات ناقصة ولقـد اطلقت الولايات المتحدة الامريكية صاروخها «الصدى» فى ١٢ أغسطس ١٩٦٠ فى مدار قطع ناقص قريب من الدائرة ذى حضيض (أقرب نقطة على المدار من الأرض) ارتفاعه ١٥٢٠ كيلو مـترا وأوج

(أبعد نقطة على المدار من الأرض) على ارتفاع ١٦٨٧ بدورة قدرها ١١٨٫٣ من الدقيقة .

ولكى يوضع القمر الصناعى فى مداره يطلق الصاروخ رأسيا ثم يعدل سيره فى أثناء المرحلتين الأولى والثانية ، وعند ما يصل الصاروخ الى أعلى ارتفاع له فوق سطح الأرض تطلق المرحلة الثالثة ليدور فى مداره القطع الناقص حول الأرض ، وبالاضافة الى الحركة الانتقالية فى المدار يلف القمر الصناعى حول نفسه ليحافظ على استقراره ويقوم بعملية التوجيه مجموعة من الدورات تلقائيا ، فعندما تحس بالخطأ فى الاتجاه تقوم بتقويمه ، وتوضع هذه المجموعة فى المرحلة الثانية من الصاروخ .

ان الحلم الذى ظل يراود الانسان منذ زمن بعيد بدأ يتحقق ، فلقد طلعت علينا الأنباء منذ شهور قليلة فى أوائل عام ١٩٦١ بانطلاق الانسان الى الفضاء ، فانطلق الطيار الروسى يورى جاجارين على متن مركبة الفضاء الروسية فوستك « الشرق » فى النصف الأول من ابريل عام ١٩٦١ وارتفع الى حوالى ٣٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض بسرعة تقرب من ٢٩٠٠٠ كيلو متر فى الساعة واستغرقت رحلته ١٠٨ دقائق فى الفضاء رجع بعدها سالما الى الأرض ولم يمض على تلك الرحلة أكثر من شهر حتى انطلق الن شبرد الأمريكى فى الرحلة البشرية الثانية للفضاء على متن « عطارد » الأمريكى فارتفع الى ما يقرب من ١٨٤ كيلو مترا واستغرقت رحلته أربع عشرة دقيقة هبط بعدها سالما حيث تلقته السفن والطائرات فى وسط المحيط . ولم يكن لجاجارين أو شبرد أى دور فى تسيير المركبات التى امتطياها أو التحكم فى حركتها . انما كان يتحكم فى حركة المركبتين العدد والآلات التى زودتا بها

وكذلك عدد وآلات المحطات الأرضية ، كما اتبع فى الصواريخ والأقمار العديدة التى أطلقتها كل من روسيا وأمريكا فى الأعوام الثلاثة السابقة . لكن شبرد وجاجارين قدما للعالم بتطوعهما بالقيام برحلتيهما أعظم هدية اذ أثبتا أن السفر الى الكواكب أو على الأقل جوب الفضاء أصبح حقيقة ولم يعد خيالا يداعب أفكار القصصيين .

والجدير فى الرحلتين البشريتين الأخيرتين أن الانسان تمكن من اطلاق سفن الفضاء وارجاعها ثانية سالمة بمن فيها طبقا لخطة مرسومة . ولقد أجريت عدة تجارب على ارجاع صواريخ صماء الى الأرض نذكر منها المستكشف الأمريكى رقم ١٤ الذى أطلق فى أغسطس عام ١٩٦٠ وبقى يدور فى الفضاء زهاء شهر فى قطع ناقص ذى حضيض على ارتفاع ١٧٨ كيلو مترا وأوج يبلغ ارتفاعه ٨٠٨ كيلو مترات ثم أعيدت الكبسولة الى البقعة التى حددت لعودتها فى المحيط الهادى . وكذلك سبوتنيك الروسى رقم ٥ الذى أطلق فى أغسطس ١٩٦٠ أيضا وبقى يدور فى الفضاء ١ر١ من اليوم فى قطع ناقص ذى حضيض على ارتفاع ٣٠٦ كيلو مترات وأوج على ارتفاع ٣٩٩ ثم أعيدت الكبسولة الى الأرض سالمة بعد أن قطعت فى رحلتها ٧٠٤٠٠٠ كيلو متر . والفكرة فى اعادة القمر الصناعى الى الأرض مبنية على الأسس الأولية للميكانيكا ، فنحن نعلم أن القمر الصناعى لا يستهلك وقودا فى أثناء دورانه فى مداره ، فاذا أريد ارجاعه الى الأرض أخرج عن مداره بفصل الجزء المراد ارجاعه عن المرحلة الصاروخية المعدة لهذا الغرض ، ووجهت حركته نحو الأرض ويكون ذلك بمثابة فرامل يتمم عملها مقاومة هواء الغلاف الجوى عند ما تدخل فيه الكبسولة . الا أن المسألة

ليست بالبساطة التى تبدو عليها ، فيجب حساب المسافة التى ينبغى أن تعمل عندها الفرامل بكل دقة ، كما يجب أيضا حساب الموقع التى ينتظر أن تلتقى فيه الكبسولة بالأرض ، ولما كان احتكاك سطح الكبسولة بالهواء الجوى يتسبب فى رفع درجة الحرارة الى ما يقرب من ١٠٠٠°م فتزود الكبسولة بأجنحة ذات تصميم خاص تعمل على انقاص درجة الحرارة الى الحد الأدنى الذى يمكن الوصول اليه فى حدود ٥٠٠°م .

ان بزوغ فجر عصر الفضاء لمن المراحل ذات الأهمية القصوى فى تاريخ البشرية . فالى جانب تحقيق حلم الانسان بجوب الفضاء ، يمثل هذا العصر الانتقال بالانسان من مرحلة التخمين والاستنتاج فى استكشافه لأسرار الكون الى مرحلة الاعتماد على أجهزة ومعامل تجوب الكون وتبقى فى الفضاء طوع أمره ، يستعين بها فى اجراء تجاربه وأخذ أرصاده ومعرفة ما حرمه ارتباطه بالأرض من الوصول اليه من أسرار هذا الكون الذى نعيش فيه .

وأهم مايصبو اليه الانسان أن يصل الى أسرار الطبيعة خاصة ما كان منها متصلا اتصالا وثيقا بحياته اليومية ، فهو يطمع فى تسخير الظواهر الطبيعية لتوفر له حياة أفضل ، أو التمكن من دفع أخطارها ليعيش عيشة آمنة . ويأتى التعرف على أسرار الأحوال الجوية فى المرتبة الأولى ، اذ أنها تؤثر تأثيرا مباشرا فى حياة الأفراد والأمم ، فهى تمنحهم السعادة فى أوقات رضاها وتصيبهم بالنكبات فى ثورتها وغضبها . وأهم عامل يؤثر فى الأحوال الجوية الأرضية هو الاشعاع والجسيمات التى تنبعث من الشمس ، ومن هذه الاشعاعات الأشعة فوق البنفسجية التى

تعمل على تأيين طبقات الجو العليا ، كما تعمل على تكوين طبقة من الأوزون تقينا من الاشعاع وتعمل على امتصاص الهواء الجوى للحرارة . ومن المعتقد أن التغيرات التى تحدث فى طبقة الأوزون هى المسئولة عن تغير الظروف الجوية فى طبقات الجو العليا .
وتحتوى الأقمار الصناعية التى أطلقت على أجهزة لقياس شدة الاشعاع وأطوال موجاتها وتغيرها مع الزمن ، وبتجميع تلك المعلومات يمكن ايجاد العلاقة بينها وبين الأحوال الجوية على سطح الأرض ، ولقد زودت بعض الأقمار الصناعية بآلات تصوير تليفزيونية أرسلت وما زالت ترسل صورا للتكوينات السحابية ، ويتراكم الآن لدى رجال الأرصاد الجوية بيانات ومعلومات لم تتوفر لهم من قبل ، ويعمل العلماء الآن على تحليل تلك البيانات والاستفادة منها فى التنبؤات الجوية بل ربما أمكنهم الاستفادة منها فى التحكم فى الأحوال الجوية ، ولا يخفى علينا ما لهذا العمل من نتائج بالغة الأهمية لا للأعمال الحربية فحسب بل لحياة أفضل على سطح الأرض .

ويعتقد العلماء الأمريكيون أن الأقمار الصناعية سوف تفيد فى الملاحة فيمكن عن طريقها أن تعين أى سفينة موقعها فى عرض البحر بصرف النظر عن الأحوال الجوية أو صفاء السماء . وتزمع الولايات المتحدة الأمريكية اطلاق أربعة أقمار صناعية تكون جميعها فى أفلاكها قبل عام ١٩٦٢ ، ولقد أرسلت فعلا أول قمر فى هذه المجموعة . ترانسيت ١ — B » فى ابريل عام ١٩٦٠ ، والغرض من هذه المجموعة هو انباء السفن بمواقعها فى عرض المحيط والأساس فى ذلك مبنى على . ظاهرة دوبلر » التى تتسم بها الموجات بجميع أنواعها . فاذا أصدر جسم متحرك موجات

بتردد معين (أو طول موجة) فان طول الموجة يتغير بالنسبة للراصد الساكن ويتوقف التغير على سرعة المرصد المتحرك واتجـاهه ، ولا شك أن الكثير منا قد لاحظ هذه الظاهرة فى أثناء وقوفه قرب شريط السـكة الحديدية وسماعه صفارة القـاطرة وهى تمر به مسرعة ، اذ يلاحظ انخفاض فى نغمة الصفارة عن قيمتها الاصلية . وينطبق نفس الشيء على الموجات اللاسلكية ، فالقمر الصـناعى يصدر موجات لاسلكية ترصدها السفن ويحدث تغير مفاجيء فى طول الموجة المستقبلة عند عبور القمر الصناعى سمت السفينة ، ولما كان مسيره محسوبا بدقة تامة ، ومكانه معروف فى أى لحظة من اللحظات فيمكن للسفينة أن تحدد موقعها بتعيين لحظة اجتياز القمر الصناعى لسمتها والرجوع الى الجداول والخارطات لمعرفة موقع ذلك القمر من السماء .

وتحمـل الأقمار الصناعية فيما تحمـل من أجهزة كاشفات للأشعة الكونية ، تلك الجسيمات النووية التى تنهال على الأرض من الفضاء الكونى وتتكاثر وتتفاعل مع ذرات الهواء الجوى . ولقد درس العلماء خصائص هذه الأشعة على سطح الأرض وعلى الارتفاعات التى تمكنوا من الوصول اليها بالبالونات والطائرات ولكنهم لا يزالون فى حيرة من أمر مصدر تلك الأشعة والوسيلة التى تكتسب بها الطاقة الهائلة التى تصلنا بها ، ومن المعتقد أن دراسة تغير شدة الأشعة الكونية فى الفضاء مع خطوط العرض قد تؤدى الى زيادة معرفتنـا بالمجالات المغنطيسية والكهربيـة التى تتسارع فيها تلك الجسيمـات ومن ثم تؤدى الى معرفة أعمق بالكون .

وعلى الرغم من أن علم الفضاء ما زال فى مهده فلقد زودنا فى

هذه الفترة القصيرة من عمره ببيانات عن الأرض والفضاء صححت مالدينا من معرفة وأزادت عليه ، فأنبأنا الصاروخ الأمريكى فانجارد الأول بما فيه من أجهزة أن الأرض فى شكل الكمثرى ذات بروز يبلغ ارتفاعه ٥٠ قدما عند القطب الشمالى يقابله انخفاض بنفس العمق عند القطب الجنوبى ، وأن انبعاج الأرض عند خط الاستواء أقل مما قدره علماء القياسات الأرضية من قبل . كما أنبأتنا أجهزة قياس المغنطيسية التى زود بها أحد الصواريخ أن مجال المغنطيسية الأرضية يمتد الى حوالى ٩٠٠٠٠ كيلو متر ، أى ضعف المسافة التى قدرت له من قبل .

وليس هناك شك فى أن الدافع المباشر لتقدم أبحاث الصواريخ والفضاء هو الأغراض الحربية سواء كانت للدفاع أو الهجوم ، فنحن نعلم أن التفكير فى الصواريخ بدأ على أنها قذائف موجهة تطلقها الدولة المحاربة على أهداف أعدائها عن بعد ، وكان لا بد من التفكير فى صد الهجمات الصاروخية أو على الأقل الانذار بقدومها . ولقد أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية فى شهر مايو ١٩٦٠ قمرا صناعيا يزن ألفى كيلو جرام مزودا بأجهزة بلغ وزنها ١٤٠٠ كيلو جرام ومن أهم مميزات هذا التابع وجود أجهزة فى مقدمته تحس بالأشعة تحت الحمراء فيمكنها أن تكشف عن مصادر الحرارة غير العادية على الأرض أو فى الجو . وعلى ذلك ففى استطاعة هذه الأجهزة التجسس على الصواريخ المنطلقة فى الجو — بما تبعثه تلك الصواريخ من أشعة حرارية — وارسال الانذارات الى محطات المراقبة الأرضية

ولم يقتصر استكشاف الفضاء على ارسال التوابع الأرضية فقط بل أرسلت روسيا صاروخها « لونك رقم ٢ » فى سبتمبر

١٩٥٩ لاستكشاف الطريق الى القمر ، فأصابه اصابة مباشرة ثم تبعه « لونك رقم ٣ » فى أكتوبر من نفس العام لاستكشاف الجانب الآخر من القمر الذى لا يمكننا رؤيته من الأرض على الاطلاق ، فالتقط صورا لذلك الجانب ، كما أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية عدة صواريخ لم تبلغ القمر لكنها أرسلت معلومات جديدة عن الاشعاعات والتيارات الكهربية فى الفضاء حول الأرض فاكتشف الصاروخ « المستكشف رقم ٦ » تيارا كهربيا شدته خمسة ملايين من الأمبيرات يسرى حول الأرض على ارتفاع يبلغ حوالى ٤٠٠٠٠ كيلو متر منها .

ولم يقف التسابق فى رحلات الفضاء عند حد الوصول الى القمر بل تعداه الى الكواكب الأخرى وأرسلت كل من روسيا وأمريكا توابع للشمس ، فأطلقت روسيا « لونك رقم ٦ » فى يناير ١٩٥٩ ليدور حول الشمس فى فلك يبعد أوجه عنها ١٢٠ مليون ميل وحضيضه ١ر٩١ من مليون ميل ويتم دورته حولها فى ٤٤٤ يوما . كما أرسلت أمريكا « الرائد رقم ٤ » فى مارس ١٩٥٩ ليدور فى فلك حول الشمس يبعد أوجه عنها ١ر١٠٦ من مليون ميل وحضيضه ٧ر٩١ من مليون ميل ويتم دورته فى ٣٩٥ يوما ، وفى مارس ١٩٦٠ أرسلت أمريكا « الرائد رقم ٥ » ليدور حول الشمس فى فلك يبعد أوجه عنها ٩٢ مليون ميل وحضيضه ٧ر٧٤ من مليون ميل .

اننا ما نزال فى بداية الطريق ، فرحلتا جاجارين أو شبرد ماهما الا بمثابة تجربة مركبة جديدة فى جزء من ألفى جزء من الطريق الذى ينتظر أن تقطعه ، وان الانسان لينظر بعين كلها الثقة والأمل الى اليوم الذى يصبح فيه السفر الى القمر بل الى المريخ والزهرة مثل السفر الى الاسكندرية أو دمشق ، أما العلماء فيضعون كل

آمالهم فى مشروعات المستقبل واستبدال الانسان بمجموعة الأجهزة والآلات التى يعبئون بها الآن مجساتهم للفضاء اذ لا شك أن الانسان الراكب متن مجسات الفضاء يمكنه بما آتاه الله من أن تقوم بها الأجهزة الصماء التى لا حياة ولا انفعالات فيها ــ كما أن الانسان الراكب متن مجسات الفضاء يمكنه بما آتاه الله من نعمة التفكير والعقل أن يتصرف فى المواقف التى لا يمكن لغير البشر أن يتصرفوا فيها ــ سيأتى ذلك اليوم وسوف يخرج الناس أحادى وجماعات من أرضهم الصغيرة وينفذوا من غلالتها الرقيقة (بالنسبة للابعاد الكونية) ليروا بأنفسهم حقيقة هذا الكون وضآلة أرضهم بالنسبة له .

●

فهـــرس

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٠٣٠١/١٩٩٩

I.S.B.N 977 - 01 - 6312 - 0



المعرفة حق لكل مواطن وليس للمعرفة سقف ولا حدود ولا موعد تبدأ عنده أو تنتهى إليه.. هكذا تواصل مكتبة الأسرة عامها السادس وتستمر فى تقديم أزهار المعرفة للجميع. للطفل - للشاب - للأسرة كلها. تجربة مصرية خالصة يعم فيضها ويشع نورها عبر الدنيا ويشهد لها العالم بالخصوصية ومازال الحلم يخطو ويكبر ويتعاظم ومازلت أحلم بكتاب لكل مواطن ومكتبة لكل أسرة... وأنى لأرى ثمار هذه التجربة يانعة مزدهرة تشهد بأن مصر كانت ومازالت وستظل وطن الفكر المتحرر والفن المبدع والحضارة المتجددة.

سوزان مبارك

مكتبة الأسرة

مهرجان القراءة للجميع ١٩٩٩



١٢٥ قرشاً